

УДК 621.383

Л.П. Андреева

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ЗАРЯДНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Описана усовершенствованная технология, приведена принципиальная схема автоматического устройства, обеспечивающего оптимальный режим зарядки автомобильной аккумуляторной батареи.

Ключевые слова: емкостные ограничители тока, реле времени, компаратор, аккумуляторная батарея.

L.P. Andreeva

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

AUTOMATIC CHARGING DEVICE FOR BATTERIES

A modified technology is described. A schematic diagram of the automatic device, providing the optimum mode charging car battery, is showing.

Keywords: capacitive current limiters, time relay, comparator, battery

Инструкция по эксплуатации автомобильной кислотной свинцовой аккумуляторной батареи* требует соблюдения такого режима зарядки, при котором оператор должен почти неотлучно присутствовать у заряжаемой батареи, особенно на заключительной стадии процесса. Эта инструкция рекомендует проводить зарядку в две стадии: сначала током (в амперах), равным 0,1 емкости батареи в ампер-часах, до момента достижения напряжения на батарее 14,4 В, а затем – током, уменьшенном вдвое от начального до момента достижения постоянства напряжения и плотности электролита – около двух часов.

* ЖУИЦ. 563э410.001ИЭ. Батареи аккумуляторные свинцовые стартерные емкостью свыше 30 А-ч. Инструкция по эксплуатации, 1987.

Автоматизированные зарядные устройства [1, 3], описанные в популярной литературе, как правило, обеспечивают отключение батареи при достижении заранее установленного (порогового) значения напряжения на ней. Пороговое напряжение зависит от нескольких факторов – емкости батареи, плотности и температуры электролита и, в первую очередь, от значения зарядного тока.

Известно также, что нестабилизированный зарядный ток по мере зарядки батареи постепенно уменьшается. При одном и том же первоначально установленном значении зарядного тока, но при разной степени разряженности батареи к концу зарядки ток будет различным, а следовательно, будет отличаться и напряжение, при котором должно произойти отключение зарядного устройства.

Даже небольшие колебания напряжения сети, что далеко не редкость, особенно в условиях гражданского кооператива или сельской местности, вызывают значительное изменение зарядного тока.

Однако и использование стабильного источника зарядного тока не решает проблему в полной мере, поскольку в силу вышеперечисленных причин, с целью исключения возможности несрабатывания узла автоматического отключения зарядного устройства, автолюбитель вынужден устанавливать заведомо заниженное значение порогового напряжения. Обычно рекомендуют устанавливать порог в пределах 14,3...14,5 В, причем без учета типа зарядного устройства и значения зарядного тока.

Вместе с тем практика показывает, что при зарядке батареи током, численно равным 0,1 ее емкости, напряжение 14,4 В (или 2,4 В на один аккумулятор) достигается при степени заряженности, равной всего 55–80 % в зависимости от температуры электролита. Это легко проверить измерением плотности электролита, которая, как известно, связана со степенью заряженности батареи практически линейной зависимостью – при изменении плотности на 0,01 г/см³ происходит изменение степени заряженности примерно на 6,25 % [4].

Таким образом, использование автоматических зарядных устройств с фиксированным пороговым напряжением приводит, как правило, к ощутимой недозарядке батареи, тем большей, чем ниже «порог» и чем больше значение зарядного тока.

Описываемое зарядное устройство в значительной степени свободно от перечисленных недостатков. Момент окончания зарядки оно

определяет по достижении на батарее напряжения, максимального для установленного зарядного тока, и постоянства его в течение 2 ч. До напряжения 14,4 В батарея заряжается током 5,5 А, а затем – до выключения устройства 2,75 А, что полностью соответствует рекомендуемому режиму зарядки наиболее распространенной автомобильной аккумуляторной батареи 6СТ-55. Этим достигается практически полная заряженность батареи независимо от ее первоначального состояния. Устройство не боится кратковременного замыкания цепи нагрузки и обрыва в ней. Приняты меры и для защиты устройства при случайном подключении батареи в обратной полярности.

Допускается работа и в режиме ручного управления, при котором автолюбитель сам устанавливает зарядный ток и выключает устройство. Принцип действия основан на периодическом сравнении текущего напряжения на заряжаемой батарее с напряжением на ней часовой давности. В качестве узла хранения напряжения использован оксидный конденсатор с малым током утечки.

Принципиальная схема зарядного устройства показана на рисунке.

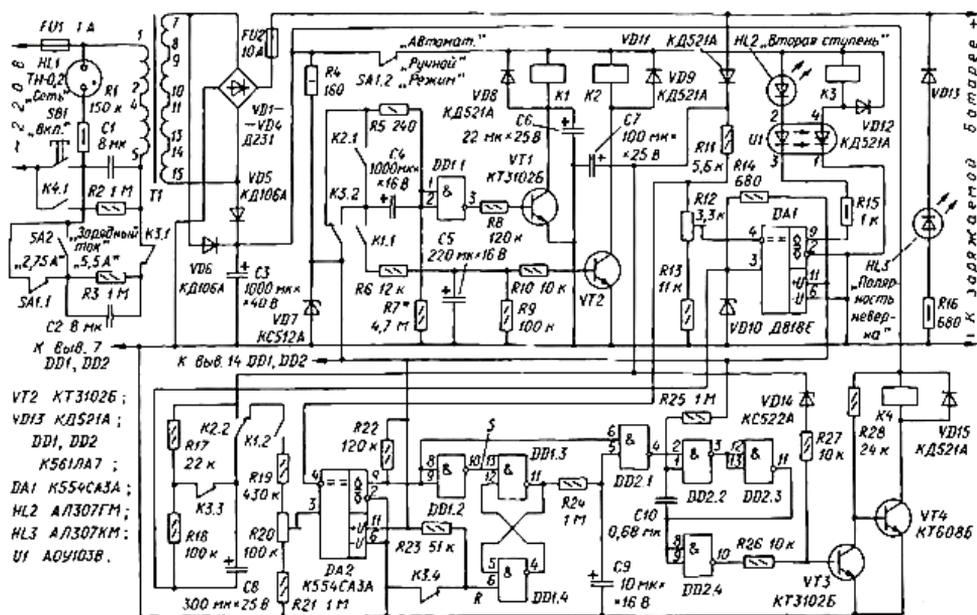


Рис. Принципиальная схема зарядного устройства

Оно состоит из блока питания, выполненного с емкостными ограничителями тока [2]. На элементе DD1.1 и транзисторе VT 1 собрано

реле времени, определяющее периодичность контроля на батарее. Другое реле времени – на транзисторе VT2 ограничивает продолжительность подключения конденсатора C8, выполняющего функцию узла хранения уровня напряжения к входу компаратора напряжения DA2, а также продолжительность дозарядки этого конденсатора до текущего напряжения на аккумуляторной батарее.

Компаратор напряжения DA1 включает реле K3 как только напряжение на батарее достигнет порога 14,4 В, после чего зарядный ток уменьшается в два раза. На элементах DD1.2–DD1.4, DD2.1–DD2.4 и транзисторах VT3, VT4 собран узел отключения зарядного устройства от сети при неизменности напряжения на батарее в течение 2 ч.

Неоновая лампа HL1 индуцирует включение устройства в сеть. На заключительной стадии процесса зарядки, когда при токе 2,75 А напряжение на батарее достигает примерно 14,4 В, включается светодиод HL2.

Перед включением устройства в сеть присоединяют к его выходным зажимам заряжаемую батарею и нажимают на кнопку SB1 «Вкл.». Через контакты кнопки и конденсаторы C1, C2 на первичную обмотку трансформатора T1 поступает напряжение сети. С выпрямительного моста на диодах VD1–VD4 снимается пульсирующее напряжение, определяющее ток зарядки батареи. Два из диодов этого моста совместно с диодами VD5, VD6 образуют второй выпрямленный мост, напряжение с которого, сглаженное конденсатором C3, питает электронный узел устройства.

С момента нажатия на кнопку SB1 начинается зарядка батареи током 5,5 А. Через диод VD11 быстро заряжается конденсатор C7, который шунтирован резистивным делителем напряжения R11–R13. Часть напряжения с этого делителя поступает на инвертирующий вход компаратора DA2, второй вход которого «заземлен» через резисторы R20, R21.

Поэтому на выходе с открытым коллектором компаратора DA2 (вывод 9) и верхним по схеме входа элемента DD2.1 присутствует напряжение низкого уровня. Тот же уровень будет и на выходе инвертора DD2.4. Транзистор VT3 закроется, а VT4 откроется. Сработает реле K4 и контактами K4.1 блокирует контакты кнопки SB1. Устройство останется включенным и после отпускания кнопки.

RS-триггер, собранный на элементах DD1.3, DD1.4, в это время зафиксирован низким уровнем на входе R (поскольку контакты K3,4 замкнуты) в положении, когда на выходе элемента DD1.3 низкий уровень.

С движка резистора R12 напряжение, пропорциональное напряжению на батарее, поступает на инвертирующий вход компаратора DA, другой вход которого соединен с источником образцового напряжения – параметрическим стабилизатором VD7R4. Вместе с использованием прецизионного стабилитрона Д818Е (VD10) это обеспечивает высокую стабильность образцового напряжения.

Пока напряжение на батарее не достигло 14,4 В, на выходе с открытым коллектором компаратора DA1 присутствует напряжение высокого уровня. Как только напряжение на батарее достигнет порогового значения, компаратор переключится, включит светодиод HL2 и оптрон U1 – сработает реле К3. Контакты К3.1 отключат конденсатор С2, в результате чего зарядный ток уменьшится в два раза. Напряжение на инвертирующем входе компаратора DA1 также уменьшится, и он переключится в исходное состояние, светодиод HL2 погаснет. Однако фотодинистор оптрона останется открытым, поддерживая себя в этом состоянии протекающим по нему током. Светодиод HL2 через некоторое время включится снова.

После размыкания контактов К3.3 конденсатор С8, который подзаряжался от резистивного делителя R17R18, зафиксирует напряжение этого момента. Делитель R17R18 учитывает снижение напряжения на конденсаторе С7 после переключения на вторую ступень зарядки.

Разомкнувшиеся контакты К3.4 установят на входе R RS-триггера DD1.3, DD1.4 напряжение высокого уровня, с триггера будет снята фиксация и на его выходе останется напряжение низкого уровня.

До срабатывания реле К3 на входах элемента DD1.1 был высокий уровень, поэтому транзистор VT1 закрыт. После переключения группа контактов К3.2 замкнет цепь зарядки конденсатора С4 через резистор R7. На входах элемента DD1.1 останется высокий уровень.

Примерно через 60 мин напряжение на входах элемента DD1.1 уменьшится до порога его переключения, откроется транзистор VT1 и сработает реле К1. Через замкнувшиеся контакты К1.1 и резистор R6 начнет заряжаться конденсатор С5, а контакты К1.2 подключат конденсатор С8 через делитель напряжения R19R20R21 к неинвертирующему входу компаратора DA2. Поскольку напряжение на конденсаторе С7 в результате продолжающейся зарядки аккумуляторной батареи будет больше напряжения на конденсаторе С8, то компаратор DA2 останется в прежнем состоянии.

Через 0,3...0,5 с после замыкания контактов К1.1 конденсатор С5 зарядится до напряжения открывания транзистора VT2. Сработает реле К2, и через переключившиеся контакты К2.2 конденсатор С8 быстро зарядится до текущего напряжения на конденсаторе С7.

Конденсатор С4 быстро разрядится через замкнутые контакты К2.1 и резистор R5. Транзистор VT1 закроется, реле К1 отпустит якорь. Конденсатор С5 разрядится через резисторы R9, R10 и эмиттерный переход транзистора VT2, и реле К2 также отпустит якорь.

Снова начнет заряжаться конденсатор С4, и описанный выше процесс повторится с той разницей, что при следующем срабатывании реле К1 на плюсовой обкладке конденсатора С8 относительно общего провода будет присутствовать напряжение, которое час назад было на конденсаторе С7, следящем за изменением напряжения на батарее.

Строго говоря, напряжение на конденсаторе С8 за прошедший час несколько уменьшится из-за наличия тока утечки. Подключением минусового вывода конденсатора к плюсу источника образцового напряжения VD10R14 удалось уменьшить это изменение примерно в 2,5 раза. Остаточную погрешность компенсируют соответствующей регулировкой резистора R20.

Описанные часовые циклы будут продолжаться до тех пор, пока при очередном срабатывании реле К1 напряжение на неинвертирующем входе компаратора DA2 не станет больше, чем на инвертирующем, что будет свидетельствовать о прекращении увеличения напряжения на заряжаемой батарее. Компаратор DA2 переключится на короткое время, определяемое скоростью разрядки конденсатора С8, через резисторы R19–R21. Импульс высокого уровня с его выхода с открытым коллектором поступит на верхний по схеме вход элемента DD2.1, а через инвертор DD1.2 – на вход S RS-триггера DD1.3, DD1.4 и переключит его. На выходе триггера появится напряжение высокого уровня, которое через резистор R24 начнет заряжать конденсатор С9. Поскольку в течение действия импульса конденсатор не успевает зарядиться до напряжения переключения элемента DD2.1, транзисторы VT3, VT4 останутся в прежнем состоянии и зарядка батареи продолжится.

При следующем переключении компаратора DA2 (т.е. еще через час) конденсатор С9 будет полностью заряжен. Элемент DD2.1 переключится на время действия входного импульса и сформирует на выходе короткий импульс низкого уровня. Для надежного отключения

зарядного устройства на элементах DD2.2, DD2.3 собран одновибратор, увеличивающий продолжительность этого импульса до 0,5 с.

На выходе элемента DD2.4 появится импульс высокого уровня, который откроет транзистор VT3. Транзистор VT4 закроется, реле K4 отпустит якорь, и разомкнувшиеся контакты K4.1 отключат зарядное устройство от сети.

В положении «Ручной» переключатель SA1 устройства включают той же кнопкой SB1. Переключателем SA2 устанавливают требуемый ток зарядки.

При случайном отключении батареи от зажимов зарядного устройства напряжение на вторичной обмотке трансформатора T1 и, следовательно, на конденсаторе C7 резко увеличится. Откроется стабилитрон VD14, что приведет к открыванию транзистора VT3 и отключению устройства от сети.

С целью защиты диодов VD1–VD4 при случайном подключении батареи в обратной полярности введен предохранитель FU2. Практика показала, что предохранитель на 10 А обеспечивает надежную защиту диодов. Неправильное подключение индицирует светодиод HL3.

Зарядное устройство выполнено в коробке из листового гетинакса толщиной 5 мм, размеры коробки 240×140×140 мм. В днище и задней стенке просверлены отверстия для вентиляции. На задней стенке снаружи размещен общий теплоотвод с эффективной площадью 400 см³ для диодов VD1–VD4. Диоды установлены через изолирующие шайбы и слюдяные прокладки.

В устройстве использованы постоянные резисторы МЛТ, переменные СП4-1, конденсаторы C1 и C2 – МБГЧ с номинальным напряжением 250 В. При использовании металлобумажных конденсаторов других типов (МБГО, МБГП и др.) их номинальное напряжение должно быть не менее 500 В. Конденсаторы C3 – C7 – К50-35, C9 – К50-16А.

Особенно внимательно следует отнестись к выбору конденсатора C8. Как уже отмечалось, он должен обладать минимальным током утечки. Проведенные сравнительные испытания конденсаторов разных типов показали, что лучшие результаты обеспечивают К52-2 емкостью 300 мкФ на номинальное напряжение 25 В, который после зарядки до 12 В терял за час всего 18 мВ (0,15 %).

Компараторы К554СА3А могут быть заменены на К521СА3. Оптрон – любой из серии АОУ103 или АОУ115. Диоды Л231 заменимы на КД213А, Д242А и другие на прямой ток не менее 5 А, КД106А – на

КД105 с любыми буквенными индексами, а КД521А – на КД522А, КД509А, КД510А, КД102А, КД102Б, КД103А, КД103Б. Вместо КС512А можно установить два последовательно включенных стабилизатора КС156А, а вместо КС522А – два Д814Г. Стабилитрон VD10 желательно применить с возможно меньшим ТК напряжения стабилизации. Подойдут, кроме указанного, стабилизаторы серий КС190 и КС191 с любым буквенным индексом.

Транзисторы КТ3102Б заменимы любыми маломощными или средней мощности *n-p-n* транзисторами с допустимым постоянным током коллектора не менее удвоенного тока срабатывания реле К1 и К2 (для VT1 и VT2), постоянным напряжением коллектор-эмиттера не менее 30 В и коэффициентом передачи тока базы более 100. Годятся транзисторы КТ3117 с любым буквенным индексом или КТ315Г. Вместо КТ608Б подойдут транзисторы из серий КТ807, КТ815.

В устройстве использованы реле РЭС47 (К1 и К2), паспорт РФ4.500.407-02, РЭС22 (К3), паспорт РФ4.523.023-00, РМУ (К4), паспорт РС4.523.303. Реле РЭС22 можно заменить на РЭС32, паспорт РФ4.500.335-02, РЭС47 – на РЭС48, паспорт РС4.590.203, а РМУ – на РЭН33, паспорт РФ4.510.022.

Кнопка SB1 – КМ1, КМ2-1. Переключатель SA1 – П2Т-1-1 или МТ-3; SA2 – П1Т-1-1 или МТ1. В качестве предохранителей FU1, FU2 желательно использовать быстродействующие плавкие вставки ВПЗТ-2 или ВП1.

Для налаживания устройства контакты кнопки SB1 и конденсатор С1 временно замыкают перемычками, вынимают предохранитель FU2, к выходным зажимам устройства подключают полностью заряженную аккумуляторную батарею. Вход зарядного устройства подключают к сети через лабораторный автотрансформатор. При отсутствии ЛАТРа выпрямитель VD1–VD6 следует подключить к половине вторичной обмотки трансформатора Т1.

Сначала определяют, насколько уменьшается напряжение на конденсаторе С8 за 60 мин. Для этого плюсовой вывод конденсатора отпаивают, переключатель SA1 переводят в положение «Ручной», соединяют вольтметр с конденсатором С3, включают устройство в сеть и ЛАТРОм устанавливают напряжение на этом конденсаторе 15...18 В. Проверяют наличие напряжения 9 В на стабилитроне VD10 и затем, соединив плюсовые выводы конденсаторов С7 и С8, измеряют цифровым вольтметром напряжение в точке соединения относительно общего провода.

Далее отключают конденсатор С8 от С7 и через 60 мин измеряют напряжение на плюсовом выводе конденсатора С8. Вольтметр надо выбрать с входным сопротивлением не менее 5...10 МОм, чтобы конденсатор при подключении вольтметра разряжался не слишком быстро. Для увеличения входного сопротивления можно его подключить через высокоомный резистор, образующий вместе с входным сопротивлением прибора делитель напряжения с коэффициентом 1:10.

Движок резистора R20 устанавливают в нижнее по схеме положение, а последовательно с резистором R19 включают переменный резистор сопротивлением 3,3...6,8 кОм, вывод движка которого соединяют с плюсовым выводом конденсатора С7. Подключают к этому резистору вольтметр и, изменяя сопротивление резистора, устанавливают падение напряжения на нем в 1,2...1,5 раза больше значения, на которое уменьшается напряжение на конденсаторе С8 за 60 мин.

Затем подключают вольтметр к выходу с общим коллектором компаратора напряжения DA2 и перемещают движок резистора R20 до тех пор, пока компаратор не переключится. Фиксируют это положение движка резистора, отключают устройство от сети, отпаивают дополнительный резистор и восстанавливают цепь конденсатора С8.

Снимают перемычку с контактов кнопки SB1, подключают вольтметр к выходу элемента DD1.3, переводят переключатель SA1 в положение «Автомат» и снова включают устройство нажатием на кнопку SB1, должно сработать реле К4. На короткое время соединяют инвертирующий вход (вывод 4) компаратора DA1 с плюсовым выводом конденсатора С7. При этом должно сработать реле К3. Время срабатывания реле фиксируют.

Соединяют на несколько секунд плюсовые выводы конденсаторов С8 и С7. Через некоторое время срабатывает реле К1. В момент срабатывания реле на выходе элемента DD1.3 должно появиться напряжение высокого уровня. Если этого не происходит, немного передвигают движок резистора R20 вверх по схеме и ожидают следующего срабатывания реле К1.

После появления на выходе элемента DD1.3 напряжения высокого уровня при очередном срабатывании реле К1 реле К4 должно отпустить якорь и отключить устройство от сети. В результате регулировки следует добиться уверенного переключения компаратора DA2 при каждом срабатывании реле К1. Чтобы не выключать устройство во время налаживания, можно устанавливать низкий уровень напряжения на

выходе элемента DD1.3 кратковременным замыканием выводов контактов К3.4. После окончания этого этапа регулировки фиксируют движок резистора R20 зажимной гайкой.

Если предполагается использовать зарядное устройство в широких пределах температуры окружающей среды, можно специально закрутить порог переключения компаратора на 10...15 мВ. Это незначительно отразится на степени заряженности батареи, но исключит вероятность несрабатывания узла отключения устройства из-за возможного изменения параметров отдельных элементов, в частности конденсаторов С4 и С8, при изменении температуры.

В случае, если промежуток времени между очередными срабатываниями реле К1 будет отличаться от 60 мин более чем на 3...5 мин, корректируют время срабатывания подборкой резистора R7.

Далее устанавливают порог срабатывания компаратора DA1. Возвращают на место предохранитель FU2, снимают перемычку с конденсатора С1, перемещают движок резистора R12 в нижнее по схеме положение, подключают к выходу устройства вольтметр, подают с ЛАТРа напряжение 190...200 В и включают устройство нажатием кнопки SB1. Плавно увеличивают входное напряжение до достижения на батарее напряжения 14,4 В, после чего вращают движок резистора R12 до срабатывания реле К3 и фиксируют движок в этом положении.

В заключение корректируют, если необходимо, зарядный ток подборкой конденсаторов С1 и С2 или пропайванием к их выводам конденсаторов емкостью 0,5–1,0 мкФ. Сначала корректируют ток второй ступени (С1), а затем первой. Желательно эту работу проводить в начальной стадии каждой ступени зарядки батареи.

Если в процессе эксплуатации устройства будут заметны сбои в его работе из-за действия помех, следует шунтировать керамическими конденсаторами емкостью 0,047-0,1 мкФ цепи питания микросхем и оксидные конденсаторы С3, С7, С8. От помех из сети поможет избавиться последовательная RC-цепь из конденсатора емкостью 0,1 мкФ на напряжение 630 В и резистора сопротивлением 100 Ом мощностью 0,5 Вт, подключенная к выводам первичной обмотки сетевого трансформатора.

Библиографический список

1. Куприянов К. Автоматическое зарядное устройство // Радио. – 2000. – № 12. – С. 33–37.

2. Евсеев А. Автоматическое зарядное устройство для аккумуляторных батарей // В помощь радиолюбителю / ДОСААФ. – М., 1983. – Вып. 83. – С. 12–17.

3. Дасоян М., Курзуков Н., Тютрюмов О., Ягнятинский В. Стартерные аккумуляторные батареи: Устройство, эксплуатация, ремонт. – М.: Транспорт, 1994. – 242 с.

4. Бирюков С. Расчет сетевого источника питания с гасящим конденсатором // Радио. – 1997. – № 5. – С. 48–50.

References

1. Kupriianov K. Avtomaticheskoe zariadnoe ustroistvo [Automatic battery charger]. *Radio*, 2000, no. 12, pp. 33-37.

2. Evseev A. Avtomaticheskoe zariadnoe ustroistvo dlia akkumuliatornykh batarei [Automatic battery charger for rechargeable batteries]. *V pomoshch' radioliubiteliu*. Moscow, 1983, no. 83, pp. 12-17.

3. Dasoian M., Kurzukov N., Tiutriumov O., Iagniatinskii V. Starternye akkumuliatornye batarei: Ustroistvo, ekspluatatsiia, remont [Starter batteries: Device, maintenance, repair]. Moscow: Transport, 1994. 242 p.

4. Biriukov S. Raschet setevogo istochnika pitaniia s gasiashchim kondensatorom [Calculation of the mains supply to the quenching capacitor]. *Radio*, 1997, no. 5, pp. 48-50.

Сведения об авторе

Андреева Людмила Павловна (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры автоматики и телемеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: uz@at.pstu.ru).

About the author

Andreeva Lyudmila Pavlovna (Perm, Russia) – Assistant Professor Department of Automation and Telemechanics Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomol pr., e-mail: uz@at.pstu.ru).

Получено 26.03.2014