

А.П. Криковлюк, И.Г. Мороз-Подворчан

## Об определяющей особенности проектирования одного класса специализированных систем управления

Рассмотрено влияние специфики исходной информации на специфику соответствующего проектирования управляющих систем. Приведен пример из области робототехники.

The influence of the initial situation specific character on the corresponding specific character of control system designing is considered. An example from the field of a special robot-techniques is presented.

Розглянуто вплив специфіки початкової ситуації на специфіку відповідного проектування систем керування. Введено приклад із спеціальної робототехніки.

**Введение.** Последовательно организованное проектирование вычислительных систем (ВС) предполагает следующие две фазы: собственно проектирование в традиционном смысле этого слова, которое, по сути, можно понимать как реализацию некоторого технического задания (ТЗ), и так называемое предпроектирование, где указанное ТЗ составляется для некоторой исходной ситуации. Будучи технологически взаимодополняющими в едином процессе проектирования ВС, эти фазы существенно различаются методически. Последнее объясняется принципиальными различиями между функциональным назначением методов проектирования, направленных на повышение значений положительных характеристик и понижение значений отрицательных характеристик ВС, и функциональным назначением методов предпроектирования, направленных на адекватную интерпретацию предпосылок проектирования данной ВС соответствующими требованиями к этим характеристикам, что обуславливает в свою очередь различия в характере и результатах научных исследований.

Исторически сложилось так, что при развитии средств вычислительной техники первоочередное внимание уделялось созданию аппарата именно проектирования, а не обоснования этого проектирования. Однако в последнее время по причине появления новых областей применения ВС, в том числе новых объектов автоматизации с высокоответственным функционированием, создание аппарата предпроектирования ВС значительно актуализировалось. Существенную роль здесь сыграла необходи-

мость создания новых средств спецробототехники, что было вызвано также усилением тенденций в обществе, которые отражают стремление повысить безопасность человека в военной и ей подобной деятельности.

Данная работа лежит в русле соответствующих исследований.

### Постановка задачи

Установить связь между предпроектированием и обоснованным проектированием ВС. Показать различия в обоснованном проектировании двух основных направлений ВС. Определить специфику проектирования одного класса управляющих ВС.

### Основные пункты исследований

Контекстно поставленные вопросы проектирования ВС более обстоятельно рассматриваются следующим образом.

Обоснованное – аргументированное, базирующееся на достаточно глубоких доводах – проектирование ВС должно начинаться с направленного изучения ситуации, порождающей данный проект, и продолжаться/заканчиваться в собственно проектировании; т.е. реальная продуктивность процесса проектирования ВС – процесса придания свойств достаточно эффективно выполнять свое функциональное назначение как переработчика информации при решении тех или иных задач – зависит не только от прямого улучшения характеристик ВС в общем случае безотносительно к ситуации, но и от корректного извлечения и использования данных о сути той конкретной ситуации, в которой должна применяться данная проектируемая ВС. В противном случае может сло-

житься ситуация, подобная той, к которой применимо высказывание Е.С. Вентцель: «Правильное решение произвольно поставленной задачи» [1] (что в ряде случаев может сводиться к более сильному высказыванию: «Правильное решение неправильно поставленной задачи»).

Это означает необходимость формирования действительно реальных (насколько об этом можно судить на уровне имеющихся знаний и принятых положений) представлений о требованиях, вытекающих из содержания данной ситуации, о составе этих требований, об их относительной важности, о критичности характеристик системы к их выполнению (в частности, характеристик быстрогодействия по отношению к временным требованиям, доминирующим в широком классе систем управления в реальном времени), о предельных значениях неизбежных сопровождающих затрат, о других исходных требованиях, в том числе более тонких и менее распространенных, но не менее существенных. При этом составление упомянутых требований следует рассматривать как установление цели выбора искомого проектного решения, а их обязательное выполнение – как достижение этой цели. Отсюда вытекает актуальность исследовательской деятельности в таком объективно необходимом разделе проектирования ВС, что особенно важно в многочисленных случаях их высокоответственного применения.

В свете изложенного целенаправленное и целеиспользуемое проектирование ВС выглядит как сильносвязное оперирование информацией о паре «задающий проект – реализующая ситуация» или о паре «задающая ситуация – реализующий проект». Соответственно в таких рамках создание современной теории проектирования ВС переосмысливается как создание совместной теории обоснованного проектирования и обоснованного использования ВС, как разработка взаимодополняющего набора самодостаточных фрагментов этих ситуаций, а также как возникновение новых проектов с их свойствами. То есть речь идет о комплексировании двух разделов теории проектирования

вычислительных систем, что дополняет требования к интуиции и эрудиции разработчиков.

На множестве направлений проектирования и использования ВС выделяются два магистральных направления. Первое обычно ассоциируется с проектированием ВС широкого потребительского профиля, функционально предназначенных в основном для решения потока разнообразных задач без их особой дифференциации, задач с относительно большим объемом вычислений над относительно большими объемами данных в относительно свободном времени. Второе направление также обычно ассоциируется с проектированием ВС значительно более узкого, специального профиля, предназначенных в первую очередь для автоматизации управления разнообразными объектами с дифференциацией ситуаций их использования, в том числе функционирующих в технологически вынужденном (реальном) времени (в режиме «*do it just in time*»).

В данной статье эти направления проектирования ВС различаются следующим образом. Если для первого направления характерно сперва – на начальных этапах многоэтапного процесса проектирования – разрабатывать структуру ВС (в широком понимании этого слова), руководствуясь общими соображениями повышения производительности «в общем и в целом» в плане эффективной общесистемной организации как для внутренней переработки информации, так и для связи с пользователями, а затем – на последующих этапах – разрабатывать или адаптировать алгоритмы/программы решения текущих задач в данной структуре, то для второго направления, напротив, характерно на первых этапах проектирования разрабатывать определенные методы и алгоритмы решения конкретных задач управления объектами, а на последующих этапах разрабатывать или адаптировать структуру реализующей ВС, в которую в программном виде должны вкладываться указанные алгоритмы. И если в первом случае разнообразие обликов ВС (также в широком смысле этого слова) не так велико, то во втором – подобное разнообразие может оказаться значительно большим, вплоть до того,

что для новых ситуаций – качественно новых классов задач управления – придется создавать фактически новые классы соответствующих ВС.

Значит, если для первого направления методы проектирования ВС, по сути, более массовые, более универсальны в том смысле, что сравнительно малое число методов может покрыть сравнительно большое число ситуаций, то для второго направления методы проектирования ВС должны быть сравнительно более индивидуальными. Иначе говоря, аппарат проектирования для второго направления оказывается по своему богаче аппарата для первого направления, и здесь нормой служат не только общие различия между двумя направлениями проектирования ВС, но и частные различия внутри второго направления. Это означает, что создание и использование аппарата проектирования ВС в рамках второго направления здесь в общем случае должны рассматриваться как достаточно общие методы (теории) реагирования на достаточно широкие классы ситуаций. Так и сравнительно частные методы, которые могут иметь вид указаний–рекомендаций и иметь смысл, например, акцентных добавлений к указанным общим методам. Известные специалистам факты свидетельствуют, что последнее так же имеет серьезный научно-практический интерес, поскольку позволяет в ряде случаев успешно решать задачи обоснованного проектирования [2] для практически непрерывно создаваемых объектов новой техники и полезно обогащает теорию.

Приведем пример из практики создания образцов специальной робототехники. Рассмотрим суть проектирования системы управления объектами самолетного типа на уровне разработки алгоритмов управления, что является необходимым этапным элементом в процессе проектирования системы, и покажем, чем принципиально разнятся процессы проектирования пилотируемых самолетов (создание автоматизированной системы с участием человека в управлении) и беспилотных самолетов (создание автоматической системы без участия человека в управлении). Конкретно рассматривается объект с автономным управлением – без дополнительного управления извне.

Именно суть возникающих здесь принципиально важных для продуктивного – правильно ориентированного и ощутимо результативного – проектирования ВС различий между первым (рис. 1,а) и вторым (рис. 1,б) случаями удобно выразить с помощью сопоставления рисунков 2,а и 2,б, имеющих следующий содержательный смысл. Для более информативного краткого описания по существу статьи введем не вполне строгие, но интуитивно ясные понятия *пространства маневра*, интерпретируемого количеством возможных алгоритмов управления  $K$ , и *глубины разработки* (разработанности) этих алгоритмов  $A$ , которые следует рассматривать как дополнительные характеристики проектируемой системы управления.

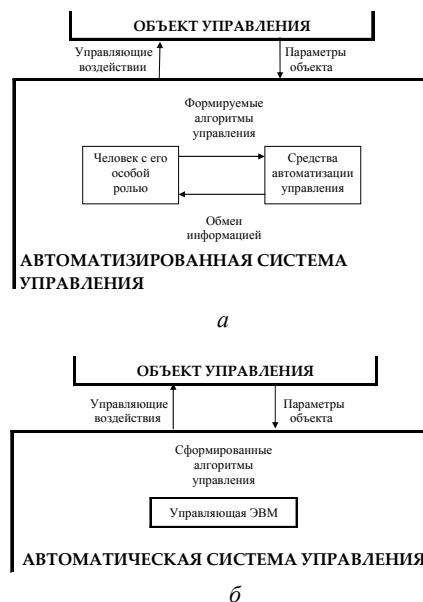


Рис. 1. Система управления: а – автоматизированная; б – автоматическая

В случае автоматизированной системы разработанность алгоритмов управления, реализуемых в виде управляющих воздействий на полет самолета, может быть качественно меньше, чем в случае автоматической системы, поскольку человек–пилот обычно «подправляет» то управление, которое контурно осуществляют (предлагают) имеющиеся на борту средства автоматизации (например, так называемый *директорский прибор*), что сравнительно расширяет пространство маневра. В то же время невозможность практического осуществления подоб-

ных действий в автоматической системе управления (без участия человека–пилота) вынуждает углублять разработку алгоритмов управления до того уровня, который объективно необходим для *нормального функционирования* искомого специального самолета–робота при естественном уменьшении своего пространства маневра, что очевидно в практическом плане, т.е. не все маневры, осуществляемые не всегда формализуемым способом в первом случае, могут осуществляться в полном объеме во втором случае. И при возникновении, например, дуэльных ситуаций богатство маневрирования, присущее пилоту, качественно недостижимо во втором случае.

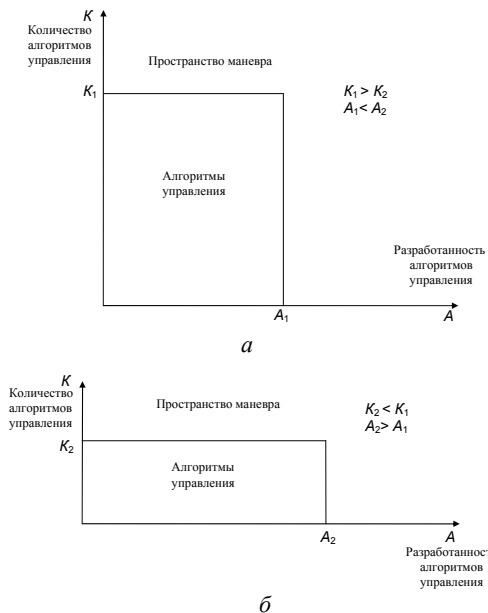


Рис. 2. Система управления: а – автоматизированная; б – автоматическая

Как видим, переход от первого случая ко второму означает определенное усложнение исходной ситуации для проектирования систем управления, что влечет за собой специфическое усложнение самого проектирования. Для частичной иллюстрации этой специфики приведем пример, содержащий информацию об особенностях разработки алгоритмов управления, что становится основным в проектировании ВС, автоматизирующих управление летательных аппаратов.

Рассмотрим одну из возможных ситуаций противодействия двух динамических объектов

близких классов. Физическая постановка задачи, переходящая в математическую, показана на рис. 3.

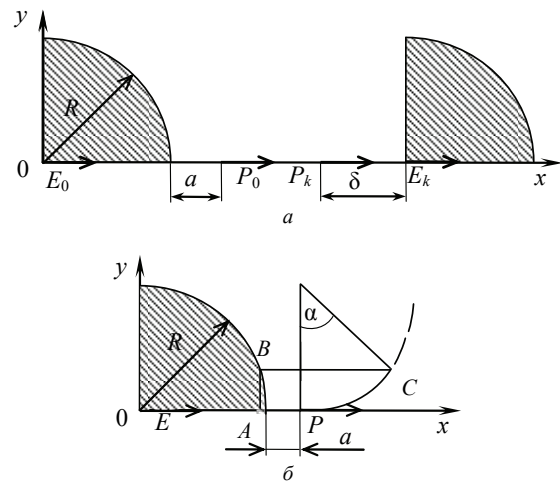


Рис. 3

Точечный объект  $E$ , в исходный момент времени находящийся в начале координат, движется по прямой  $Ox$  с постоянной скоростью  $v$ . Вместе с объектом  $E$  движется некоторая *запретная зона*, имеющая форму четверти круга радиуса  $R$ , принимаемого за единицу расстояния.

Объект  $P$  в исходный момент времени находится на этой же прямой и отстоит от границы *запретной зоны* объекта  $E$  на расстоянии  $a$ . Объект  $P$  может двигаться в верхней полуплоскости с постоянным модулем скорости  $v$  по траекториям, состоящим из сопряженных дуг окружностей радиуса  $R$  и отрезков прямых, сопряженных с дугами окружностей. Цель для объекта  $P$  заключается в уходе от преследования объектом  $E$  и занятии такого положения на прямой  $Ox$ , что  $P$  оказывается левее  $E$  на расстоянии  $\delta$ . В начальной точке  $P_0$  и в конечной точке  $P_k$  вектор скорости  $\vec{v}$  направлен вдоль оси  $Ox$ . Таким образом, объект  $P$  из преследуемого превращается в преследующего. Задача заключается в поиске траектории для  $P$  из класса вышеуказанных, двигаясь по которой и не пересекая *запретной зоны*, объект  $P$  достигает цели за минимальное время.

Не приводя полные выкладки, отметим узловые моменты задачи. Очевидно, что при заданных ограничениях выбор траектории, оп-

тимальной в указанном смысле, зависит от величины  $a$ . По мере возрастания значения параметра  $a$  решение задачи представляется кривой соответствующего типа из числа приведенных на рис. 4, 5.

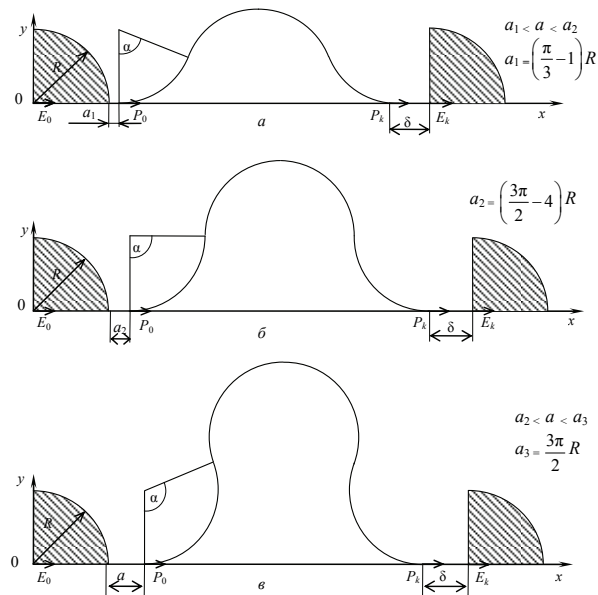


Рис. 4

Если  $a_1 \leq a < a_3$ , то траектория движения объекта  $P$  (кривая  $S_p$ ) состоит из трех сопряженных дуг радиуса  $R$ , длины которых (рис. 4) соответственно равны следующим выражениям:  $\alpha R$ ,  $2\alpha R$ ,  $\alpha R$ , где  $\alpha$  – угол первого сектора движения в радианах. Если же  $a \geq a_3$ , то траектория движения объекта  $P$  состоит из двух полуокружностей радиуса  $R$ , верхние концы которых соединены прямой встречного движения, длина которой определяется из условий равенства пути, пройденного объектами  $P$  и  $E$ ,  $P_0 P_k = E_0 E_k$ , и равна  $z = \frac{1}{2} [a + \delta - (2\pi - 1)R]$  (рис. 5, б). Частный случай, когда длина прямой встречного движения  $z = 0$ , наблюдается при  $a = a_3$  (рис. 5, а). Длина кривой  $S_p$  первого и второго типов соответственно равна  $4\alpha R$  и  $2\pi R + z$ .

Таким образом, в зависимости от параметра  $a$  качественным методом получено два типа кривых, по которым движется объект  $P$ .

Математическое решение задачи и доказательство оптимальности получаемых траекторий приведено в [3].

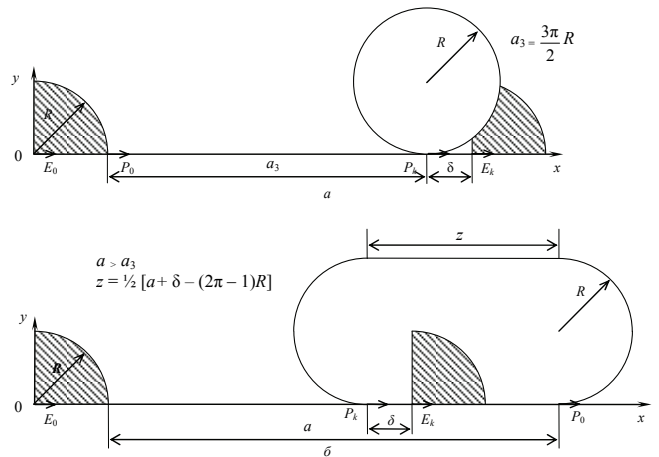


Рис. 5

### Комментарий

Создание искусственного интеллекта – давно поставленное задание для кибернетики. Исследования в этом направлении проводятся в разных аспектах, в том числе таких, в которых выражено явное академическое содержание, например дискуссии по вопросам «могут ли машины мыслить» и более того «могут ли машины властвовать над людьми». В основном декларативный характер результатов таких исследований, не подтверждаемый серьезным опытом, и вообще отсутствие значительных результатов не имели осязаемого влияния на сферу технических приложений. Однако, когда возникла необходимость практического создания объектов новой техники с высокой степенью интеллектуализации и их применения в высокоответственных (военных, техногенных и др.) ситуациях, где цена ошибок при функционировании может оказаться неприемлемо высокой, возник вопрос, как существенно повысить практическую ценность результатов исследований в данной области. В чем конкретно должны быть информативны технические задания на осуществление соответствующих проектов, с какими трудностями здесь приходится сталкиваться, насколько преодолимы/непреодолимы эти трудности и др. Эти обстоятельства, естественно, привели к смещению акцентов традиционных аспектов исследований и к появлению новых аспектов, которым ранее не уделялось должное внимание.

(Методологически в этой связи уместно обратить внимание на распространенные факты

использования стереотипного выражения «дьявол находится в деталях», которым зачастую авторы идей, не продуманных глубоко, и вообще идей, близких к фантастическим, фактически самооправдываясь отделяются от разумной критики. Именно такое положение характерно для многих случаев неудачных попыток «перехода от теории к практике».)

Изложенная специфика в полной мере наблюдается в областях проектирования высокоинтеллектуальных роботов, в том числе в виде беспилотных летательных аппаратов, в первую очередь на уровне разработки системы управления, которая в общем случае может иметь сложный многоуровневый и многосегментный вид, что отражает объективную сложность осуществления глубокого перехода от возможной частичной автоматизации в пилотном варианте к полной автоматичности в беспилотном.

Рассмотрим подробнее проблему создания высокоинтеллектуальных роботов на примере беспилотных самолетов, придерживаясь классического подхода к построению искусственного интеллекта – по возможности прямого копирования естественного интеллекта, т.е. придания проектируемому специализированному искусственному интеллекту тех качеств, которые свойственны человеку, осуществляющему пилотирование, точнее интеллекту пилота совместно со вспомогательными интеллектуализирующими возможностями бортовых средств автоматизации для выполнения пилотных функций (рассматриваются автономные объекты). При этом фундаментальная трудность заключается в том, что неформализуемое в некоторой степени поведение пилота необходимо каким-то путем превратить в достаточно продуктивный формализованный вид (домыслить, что-то изобрести), позволяющий выполнять соответствующие робототехнические функции в некоторых параметрических пределах, принятых допустимыми. То есть, если в пилотном случае тонкий технологический анализ комбинаций поведенческих актов (маневров) не был основным и даже необходимым (из-за предположения, что пилот «как-то», но априори удовлетворительно выполнит свои функции) в обыч-

ном перечне тактико-технических требований к профессиональным качествам обучаемых летчиков, то в беспилотном случае именно такой анализ и выражение его результатов в виде развернутого глубоко содержательного технического задания на проектирование (на предметную интеллектуализацию) искомого робота должен быть основным для эффективного проектирования рассматриваемого специфического объекта.

Выделим два направления исследований, особенно важных в так организованном проектировании. Первое – что касается изучения *первичного объекта* и относится к уточнению того, что предписывается выполнять функционально в пилотном случае, и к выяснению того, какие для этого существуют возможности. В частности, это означает углубленное изучение звена «пилот», его психофизических характеристик, диапазона его возможностей (вплоть до предельных), а также его изучение как источника креативной мысли в выработке управляющего поведения, особенно тогда, когда нужно оперативно реагировать на нештатные изменения обстановки. Второе – что касается обеспечения получения и обработки информации в беспилотном случае, иными словами, организации для проектируемого робота канала необходимого «зрения с принятием решений», где требуется *«on-line»* решение специфически поставленных задач обозревания обстановки, ее классификации, обнаружения целей и определения их координат, траекторного анализа с выработкой собственного поведения и пр.

Исследования в данных направлениях не исключают других, где специфически ставятся вопросы эффективности и надежности функционирования беспилотного самолета.

Итак, принципиальное различие между процессами проектирования для пилотируемых и беспилотных самолетов заключается в том, что во втором случае, кроме этапа обычной разработки алгоритмов управления системами самолета (что может оказаться практически одинаковым для обоих случаев), дополнительно появляется новый этап, технологически предшествующий и задающий для указанного управ-

ления. На этом этапе проводится совместное оперирование пространственно-временными моделями собственного полетного поведения и обстановки, учитывающей поведение непосредственно противной стороны, что придает происходящему смысл некоторой игры с противоположными интересами [3]. Целевым результатом здесь служат выработанные траектории успешного полета (где это возможно). Такой стратегический уровень оперирования, где проводятся оценки, выбираются критерии, ставятся и решаются оптимизационные задачи, где вырабатываются исходные данные для тактического уровня оперирования, – определяет искусственную интеллектуальность для такого типа роботов. Добавим, что система стратегического управления более чувствительна к изменениям в обстановке, чем система тактического управления самолетом. Так, казалось бы незначительное изменение в обстановке в виде некоторого дополнительного маневра противной стороны может повлечь весьма значительное изменение соответствующего комплекса алгоритмов управления–реагирования. С точностью до специфики подобное наблюдается применительно ко многим другим типам роботов с достаточно высокой степенью интеллектуализации.

**Заключение.** Знание предмета и большой опыт подводят к утверждению, что разработка авиационных робототехнических средств с интеллектуальными возможностями, близкими к человеческим, в ряде практически важных случаев оказывается не столь простым, как это может представиться при ознакомлении с та-

кими материалами, как [4, 5], и требует глубоких исследований специалистов высокой квалификации. (Образно говоря, «создание высокого искусственного интеллекта требует привлечения высокого естественного интеллекта»).

Авторы выражают благодарность В.Г. Писаренко за советы, повысившие качество статьи.

1. *Исследование операций. Методологические аспекты* / Под ред. А.А. Ляпунова. – М.: Наука, 1972. – 136 с.
2. *Мороз-Подворчан И.Г.* О начальном этапе обоснованного проектирования ЭВМ в рамках задачного подхода // *Кибернетика и системный анализ.* – 2000. – № 2. – С. 174–179.
3. *Об одной задаче преследования–убегания* / С.Л. Кривой, А.П. Криковлюк, И.Г. Мороз-Подворчан и др. // *Кибернетика и системный анализ.* – 1992. – № 3. – С. 138–144, 164.
4. *Умной машине пилот не нужен* // *izvestia.ru.* – 22.04.2008. – <http://www.izvestia.ru/special/article/3115493/index.html>
5. *Сергеев П.* «Неуязвимая» авиация. Пентагон торопится объявить о появлении беспилотных истребителей // *lenta.ru.* – 05.09.2008 – <http://www.lenta.ru/articles/2008/09/05/nucas/>
6. *Писаренко В.Г., Писаренко Ю.В.* Разработка информационно-аналитических систем поддержки принятия решений по управлению опасными быстропротекающими техноэкологическими происшествиями // 50 років Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України. Пр. міжнар. конф. – К.: Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 2008. – С. 214–222.

Поступила 03.08.2010

Тел. для справок: (044) 250-4464 (Киев)

© А.П. Криковлюк, И.Г. Мороз-Подворчан, 2011