

УДК 629.7.085

М. В. АМБРОЖЕВИЧ<sup>1</sup>, А. В. ГРИЩЕНКО<sup>1</sup>, К. В. МИГАЛИН<sup>2</sup>, В. А. СЕРЕДА<sup>1</sup><sup>1</sup> *Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*<sup>2</sup> *ООО НПФ «РОТОР», Россия*

## АПРИОРНЫЕ ОЦЕНКИ КИНЕМАТИКИ И ДИНАМИКИ ТРАЕКТОРНОГО ПРОЦЕССА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА «КРЫЛО-ЭЖЕКТОР» В ФАЗЕ НАБОРА ВЫСОТЫ И СКОРОСТИ

*Рассмотрен комплекс динамических и кинематических факторов процесса набора высоты и скорости летательного аппарата (ЛА) схемы «крыло-эжектор» (КЭ), в которой траекторное поддержание обеспечивается с использованием принудительной циркуляции, создаваемой эжекторным прямоточным двигателем, встроенным в несущий фюзеляж. Представлены априорные оценки траекторных свойств (подъемной и тяговой составляющей газодинамической силы, компонент вектора скорости движения центра масс, перегрузки и др.), обеспечивающие функциональную идентификацию ЛА КЭ. Проанализировано влияние масштабного фактора на траекторные свойства ЛА КЭ.*

**Ключевые слова:** *летательный аппарат, крыло-эжектор, эжекторный прямоточный двигатель, несущий фюзеляж, динамические и кинематические факторы, траекторный процесс, набор высоты и скорости, траекторное поддержание, газодинамическая сила, перегрузки.*

### Введение

В продолжение тематического цикла, посвященного траекторным процессам летательных аппаратов (ЛА) интегральной схемы «крыло-эжектор» (КЭ) [1–2], в настоящей статье рассмотрены динамические характеристики процесса набора высоты и скорости, которые критическим образом определяют практическую пригодность видовой подмножества ЛА вертикального взлета и посадки. В связи с этим на стадии получения априорных представлений о роли и месте ЛА класса КЭ с принципиально новым принципом траекторного поддержания [3] возникает необходимость оценки энергетических затрат в режиме взлета вплоть до перехода в крейсерский полет. Для получения и анализа кинематических и динамических показателей фазы старта ЛА КЭ используются обе ранее представленные конструктивные реализации – [1, табл. 1, рис. 6] (вар. 1) и [2, табл. 1, рис. 1] (вар. 2).

### 1. Подходы и формы получения априорных оценок

Для отчетливого понимания механики взлета из набора фазовых срезов [1–2] выделена «квинтэссенция» в виде циклограмм, включающих в себя последовательности состояний физических полей, сконцентрированных в едином графическом поле (рис. 1, 2), в сочетании с интегральными кинематическими и динамическими характеристиками про-

цесса (рис. 3, 4), как функциями времени, где  $w_x$ ,  $w_y$  – компоненты вектора скорости,  $X$ ,  $Y$  – траекторные координаты;  $R$ ,  $R_x$ ,  $R_y$  – модуль вектора газодинамической силы и его компоненты,  $n$ ,  $n_x$ ,  $n_y$  – суммарная перегрузка и ее составляющие.

В качестве энергетической оценки эффективности процесса ввода в полет любых ЛА ВВП (не только ЛА КЭ) можно использовать взлетный КПД:

$$\eta_{ВП} = \frac{M_{ВП}}{M_{C_{max}}} 100\% , \quad (1)$$

т. е. представляющий собой отношение массы компонентов топлива, расходуемых в режиме набора высоты и скорости ( $M_{ВП}$ ) к максимальному бортовому их запасу ( $M_{C_{max}}$ ).

### 2. Траекторные характеристики на участке набора высоты и скорости

Сопоставление парных циклограмм (рис. 1 и 2, а также рис. 3 и 4) позволяет также проанализировать влияние экрана и масштабного фактора. Туннельный эффект вблизи экрана позволяет получить газо-воздушную подушку, не прибегая к традиционным в таких случаях специальным средствам типа подъемных двигателей и вентиляторов. Отклоненная криволинейной спинкой профиля реактивная струя в задней зоне туннельного пространства увле-

кается нижним присоединенным вихрем (рис. 2, фазы II–III). В неограниченном пространстве такого рода эффекты не имеют места.

Рабочий процесс ЛА КЭ, также как и его траекторная составляющая однородны и не содержат в себе конвертируемых фаз. За исключением скоротечного переходного пускового режима работы ДУ с импульсивной динамикой (рис. 3, фазы I–II), набор высоты и скорости совершается монотонно по мере

наполнения туннельного пространства газозвушной подушкой. Свободный полет начинается сразу с момента появления силы газодинамического поддержания. Причем, график скоростей ЛА КЭ в процессе ввода в полет имеет вид практически прямолинейного отрезка с углом наклона к горизонту около  $45^\circ$  (рис. 3, 4), так как рост скороподъемности ( $w_y$ ) и горизонтальной скорости ( $w_x$ ) весьма близки.

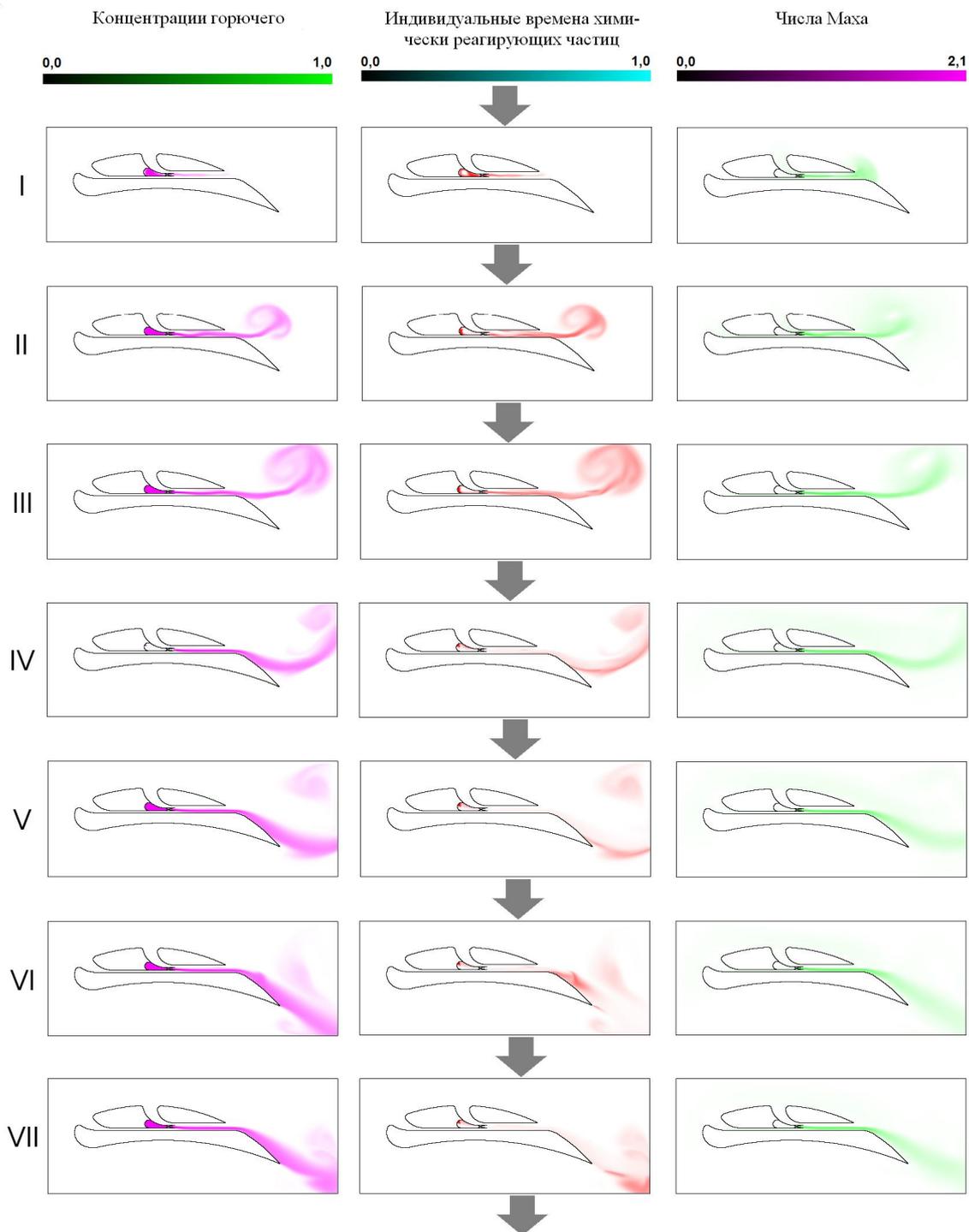


Рис. 1. Фазы установления процесса обтекания системы «крыло-эжектор», вар. 1 без влияния экрана

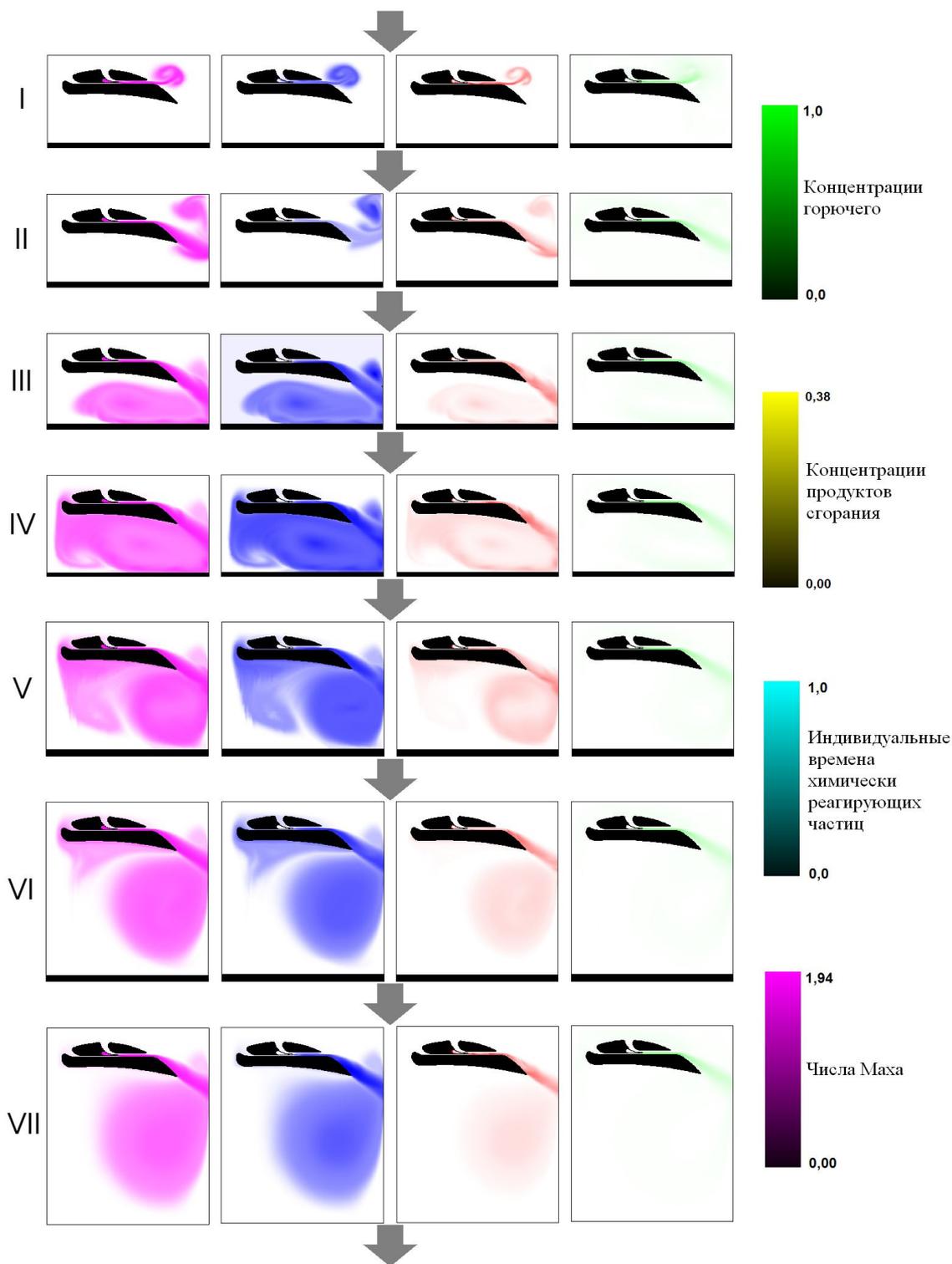


Рис. 2. Фазы процесса обтекания системы «крыло-эжектор», вар. 2 при взлете с плоской поверхности

Таким образом, и само представление о взлетном режиме выглядит чисто условным. В этом состоит принципиальное отличие от процесса ввода в полет самолетов вертикального взлета и посадки (СВВП) с начальным вертикальным участком траектории и фазой висения, которые определяют основные энергозатраты.

Естественно возможен случай, когда КЭ не яв-

ляется полностью автономным ЛА, но интегрируется в комбинированную транспортную систему в роли подъемно-разгонной ступени. Тогда обычная логика СВВП вступает в свои права. Из вышеизложенного логически вытекает схема комбинированной транспортной системы на базе КЭ с более выгодной по отношению к СВВП энергетикой ввода в полет.

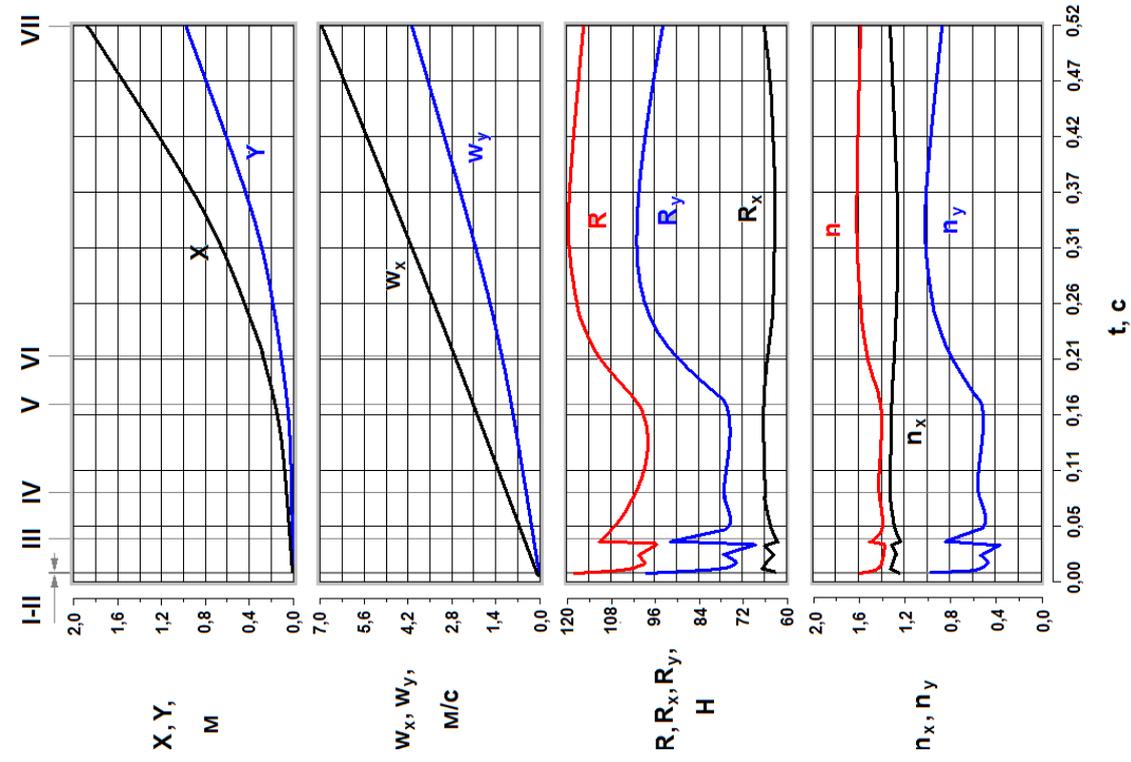


Рис. 3. Кинематические и динамические характеристики процесса набора высоты и скорости ЛА КЭ, вар. 1 в неограниченном пространстве

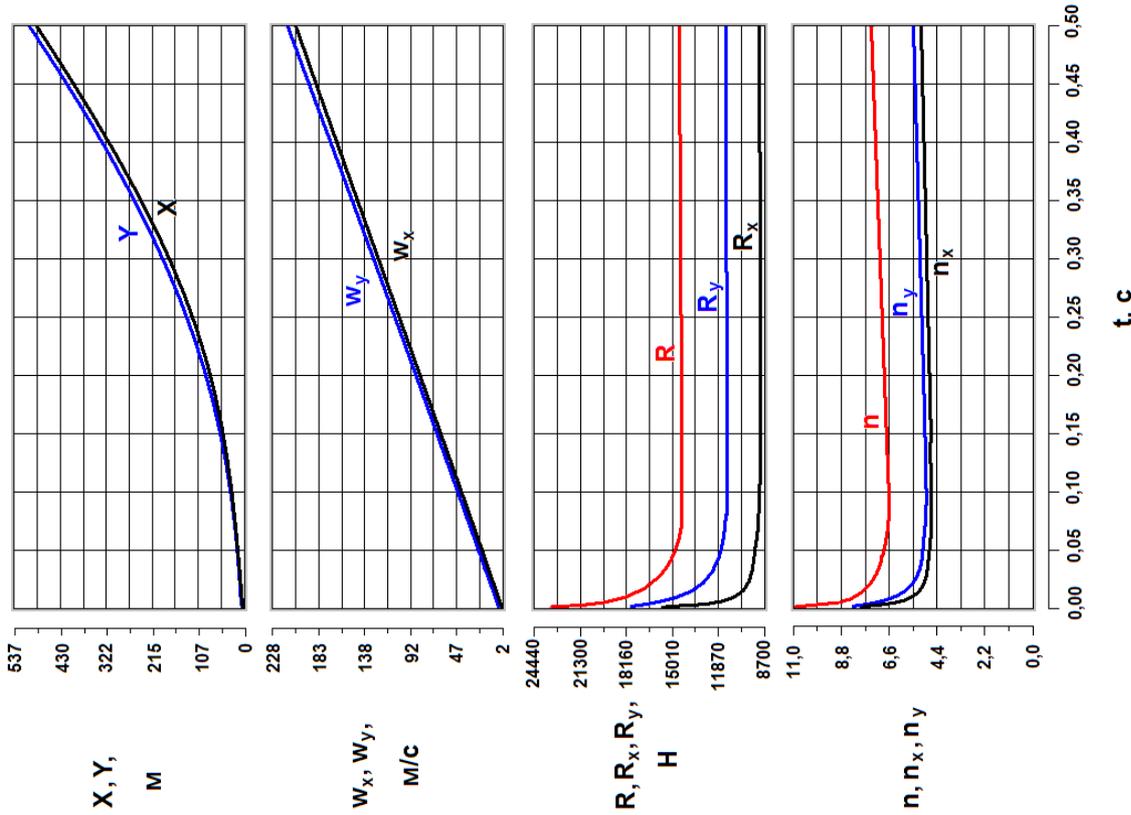


Рис. 4. Кинематические и динамические характеристики процесса взлета ЛА КЭ, вар. 2 с поверхности

Что касается одноступенчатого ЛА КЭ, то на примере варианта 2 можно убедиться (табл. 1, рис. 2, 4), что уверенный траекторный процесс вполне осуществим даже в случае, когда плотность компоновки сопоставима с плотностью конструкционного материала (см. также табл. 1). Данная диспозиция не является абстрактной и реализуется в виде конструкции с размещением элементов ЛА на законцовках несущего профиля.

Еще один момент, связанный в данном контексте с не совсем стандартными логическими построениями, включает в себя оценки влияния масштабного фактора, базирующиеся на удельных кинематических показателях, отнесенных к характерным линейным размерам ЛА. При использовании такого рода пропорциональных оценок, например,

можно увидеть, что муха летает быстрее реактивного истребителя. В случае ЛА КЭ в качестве характерного размера наиболее очевиден выбор хорды профиля (табл. 1).

Если рассматривать маневренность с позиций вращательного движения, то совершенно очевидно, что все преимущества остаются за малоразмерным аппаратом, причем – ценой значительно меньших перегрузок. Тем самым демонстрируется возможность решения специфических задач проектирования маневренных ЛА в малом масштабе (вар. II) за счет высоких скоростей угловых перемещений. Причем, если в качестве ключевого проектного условия задана высокая маневренность в данном понимании, то малоразмерный вариант ЛА КЭ может выглядеть предпочтительнее.

Таблица 1

Удельные масштабные оценки динамики и кинематики старта ЛА КЭ

№№ п/п	Характеристики	Расчетные варианты	
		I	II
1	Стартовая тяговооруженность <sup>1)</sup>	7,5	2,4
2	Удельная скороподъемность, хорд/с	0,5 с <sup>2)</sup>	12,4
		4,9 с <sup>2)</sup>	122
3	Удельная горизонтальная скорость, хорд/с	0,5 с	13,2
		4,9 с	119
4	Относительная высота подъема	0,5 с	29
		4,9 с	289
5	Относительное горизонтальное перемещение	0,5 с	27
		4,9 с	279
6	Взлетный КПД $\eta_{вп}$ (1)	0,5 с	1,48
		4,9 с	14,8
7	Максимальные стартовые перегрузки <sup>3)</sup>	n	7,0
		n <sub>x</sub>	5,0
		n <sub>y</sub>	5,2

<sup>1)</sup> – исключая фазу запуска двигателя;

<sup>2)</sup> – полетное время (№№ 2–6);

<sup>3)</sup> – примерно постоянные величины, исключая начальную фазу запуска ДУ

## Заключение

Представленные примеры свидетельствуют о принципиальной возможности реализации предложенного принципа траекторного поддержания в разнообразных масштабах и массовых пропорциях, включая предельные, когда средняя плотность конструкции сопоставима с плотностью конструкционных металлических материалов [4].

В любых конструктивных исполнениях ЛА КЭ на участке набора высоты и скорости движется с постоянной перегрузкой за счет постоянства подъемно-пропульсивной силы.

Набор высоты и горизонтальной скорости соврешается с близкими постоянными ускорениями,

что обуславливает наклонный характер траектории и исключает как таковую фазу висения.

Влияние экранного эффекта, интенсифицирующего набор высоты и скорости, не связано с какими-либо нарушениями монотонности траекторного процесса в фазе перехода к свободному полету.

Фаза набора высоты и скорости скоротечна, что обеспечивает условия для рационального траекторного распределения бортового запаса горючего, что выгодно отличает ЛА КЭ от известных СВВП.

По уровню стартовых перегрузок ЛА КЭ сопоставимы с беспилотными комплексами катапультного запуска.

Уменьшение масштаба позволяет повышать маневренные свойства ЛА КЭ без роста соответ-

вующих перегрузок. Схема ЛА КЭ не противоречит условию достижения сверхзвуковых скоростей полета.

### Литература

1. Циркуляционный принцип траекторного поддержания за счет интеграции эжекторного прямооточного двигателя в летающее крыло [Текст] / А. В. Амброжевич, А. В. Грищенко, А. В. Корнев, К. В. Мигалин, В. А. Серeda // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2014. – № 5 (112). – С. 56-63.

2. Траекторный процесс летательного аппарата типа «крыло-эжектор» с учетом влияния экрана [Текст] / М. В. Амброжевич, А. В. Грищенко, К. В. Мигалин, В. А. Серeda, В. Ю. Силевич // *Авиа-*

*ционно-космическая техника и технология*. – 2014. – № 6 (113). – С. 57-62.

3. Способ создания системы сил летательного аппарата вертикального взлета и посадки и летательный аппарат для его осуществления [Текст]. Заявка на пат. РФ № 2012152003/11(082913) : МПК В64С 29/00 / Амброжевич А. В., Грищенко А. В., Мигалин К. В., Серeda В. А., Силевич В. Ю. – 2012152003/11(082913); Заявл. 04.12.2012; Опубл. 27.05.2014; Приор. : 29.01.2013, Бюл. № 04. – 2 с.

4. Hyun Dae, Kim. Distributed propulsion vehicles [Electronic resource] / Hyun Dae Kim // 27-th International Congress of the Aeronautical Science. 19-24 September 2010, Nice, France. Access mode : [http://www.icas.org/ICAS\\_ARCHIVE/ICAS2010/ABSTRACTS/225.htm](http://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2010/ABSTRACTS/225.htm) – 25.12.2014.

Поступила в редакцию 25.12.2014, рассмотрена на редколлегии 20.01.2015

### АПРІОРНІ ОЦІНКИ КІНЕМАТИКИ І ДИНАМІКИ ТРАЄКТОРНОГО ПРОЦЕСУ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ «КРИЛО-ЕЖЕКТОР» У ФАЗІ НАБОРУ ВИСОТИ І ШВИДКОСТІ

*М. В. Амброжевич, О. В. Грищенко, К. В. Мигалин, В. О. Серeda*

Розглянуто комплекс динамічних і кінематичних факторів процесу набору висоти і швидкості літального апарату (ЛА) схеми «крило-ежектор» (КЕ), в якій траекторні підтримання забезпечується за рахунок використання примусової циркуляції, яку створює ежекторний прямооточний двигун, вбудований в несучий фюзеляж. Наведено апріорні оцінки траекторних властивостей (підйомної і тягової складової газодинамічної сили, компонент вектора швидкості руху центру мас, перевантаження та ін.), що забезпечують функціональну ідентифікацію ЛА КЕ. Проаналізовано вплив масштабного фактору на траекторні властивості ЛА КЕ.

**Ключові слова:** літальний апарат, крило-ежектор, ежекторний прямооточний двигун, несучий фюзеляж, динамічні та кінематичні фактори, траекторний процес, набір висоти і швидкості, траекторна підтримка, газодинамічна сила, перевантаження.

### A PRIORI ESTIMATIONS OF THE KINEMATICS AND DYNAMICS OF TRAJECTORY PROCESS AERIAL VEHICLE «WING-EJECTOR» ON THE PHASE OF ALTITUDE AND VELOCITY INCREASING

*M. V. Ambrożewicz, A. V. Griszenko, C. V. Migalin, V. A. Sereda*

A complex of dynamics and kinematics factors of the process of altitude and velocity increasing by aerial vehicle (AV) by scheme «wing-ejector» (WE), in which trajectory support is supplied by mean of coercive circulation, created by ejector ram jet, mounted into carried fuselage, was considered. A priori estimations of the trajectory specifics (lifting and thrust components of the gas dynamics force, components of velocity vector of the motion of mass centre, overloads etc), which functional identification of AV WE, were presented. An analysis of the scale factor influence on the influence of trajectory specifics of AV WE.

**Ключевые слова:** aerial vehicle, wing-ejector, ejector ram jet, carried fuselage, dynamics and kinematics factors, траекторный процесс, altitude and velocity increasing, trajectory support, gas dynamics force, overloads.

**Амброжевич Майя Владимировна** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры аэрокосмической теплотехники факультета авиационных двигателей, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

**Грищенко Александр Владимирович** – ст. преп. кафедры конструкции и проектирования ракетной техники факультета ракетно-космической техники, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: [sir.griszenko2014@yandex.ru](mailto:sir.griszenko2014@yandex.ru).

**Мигалин Константин Валентинович** – канд. техн. наук, директор, ООО НПФ «РОТОР», Тольятти, Россия, e-mail: [MigalinK@mail.ru](mailto:MigalinK@mail.ru).

**Серeda Владислав Александрович** – канд. техн. наук, доц. кафедры конструкции и проектирования ракетной техники факультета ракетно-космической техники, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: [sereda\\_vlad@ukr.net](mailto:sereda_vlad@ukr.net).