



УДК 621.7.04

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛИСТА СРЕДСТВАМИ ВИРТУАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

© А.В. Колесников¹, В.В. Мироненко², А.А. Чеславская³, А.К. Шмаков⁴

Иркутский государственный технический университет,
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Рассмотрена возможность изготовления деталей из листовых заготовок. Предложены схемы формообразования деталей разными технологическими процессами: формовкой эластичной или газовой средой, обтяжкой. Выполнена оптимизация технологических процессов с использованием современных инструментов виртуального технологического моделирования.

Ил. 11. Библиогр. 1 назв.

Ключевые слова: листовая штамповка; эластоформование; обтяжка; пневмотермическая формовка.

OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF MANUFACTURING PARTS FROM SHEETS BY VIRTUAL TECHNOLOGICAL SIMULATION TOOLS

A.V. Kolesnikov, V.V. Mironenko, A.A. Cheslavskaya, A.K. Shmakov

Irkutsk State Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

The article considers the possibility of manufacturing parts from sheet blanks and proposes the schemes of part shaping by various technological processes: forming by elastic or gaseous medium, by stretch-wrap forming. The optimization of technological processes is performed, using modern tools of virtual technological simulation.

11 figures. 1 source.

Key words: stamping; fluid forming; stretch-wrap forming; pneumatic thermal forming.

В конструкции планера самолетов широко применяются детали из листовых заготовок: гнутые профили (рис. 1,а), обтекатели (рис. 1,б), обшивки (рис. 1,в), окантовки (рис. 1,г) и др. С развитием конструкции самолетов сложность таких деталей будет только возрастать. Особые трудности вызывает применение труднодеформируемых, прежде всего титановых, сплавов.

Для производства таких деталей широко применяются специфические для авиационной промышленности методы листовой штамповки: формовка эластичной или газовой средой, обтяжкой и другие. Особенностью этих методов является сложность прогнозирования поведения листовых заготовок под действием деформирующего усилия, затруднение при назначении числа операций и переходов процессов формообразования. Как следствие, отработка производственного процесса выпуска подобных деталей требует больших затрат времени и средств на технологические опыты и эксперименты. Поэтому поиск оптимальных технологических процессов производства листовых деталей на этапе их разработки является одним из путей снижения затрат средств и труда при выпуске авиационной техники.

Оптимизировать технологические процессы в при-

емлемые сроки становится возможным, используя современные инструменты виртуального технологического моделирования. Одним из эффективных средств является программный комплекс технологического моделирования и анализа PAM-STAMP французской компании ESI Group, который приспособлен для работы с листовыми деталями.

Одной из первых операций производства листовых деталей является изготовление листовых заготовок, так называемых разверток. Традиционно задача определения размеров разверток решалась с помощью геометрических расчетов и построений, при этом не учитывались реальные физические процессы, происходящие при формоизменении заготовки, и деталь требовала доводочных работ после формообразования.

Разработка точных заготовок без экспериментальной отработки является достаточно сложной задачей для деталей сложной пространственной формы, например, типа «Профиль» (см. рис. 1,а) из листа толщиной 1,2 мм алюминиевого сплава АМг3. Однако точная заготовка позволяет существенно снизить трудоемкость изготовления детали за счет исключения трудоемких ручных доводочных операций после формообразования.

¹Колесников Алексей Владимирович, аспирант, тел.: 89025787277, e-mail: Avk@istu.edu

Kolesnikov Aleksei, Postgraduate, tel.: 89025787277, e-mail: Avk@istu.edu

²Мироненко Владимир Витальевич, программист УНЦ «Autodesk», тел.: 89501110235, e-mail: Mironenko_vv@istu.edu
Mironenko Vladimir, Programmer of Educational and Scientific center Autodesk of the Department of Aircraft Construction and Operation, tel.: 89501110235, e-mail: mironenko_vv@istu.edu

³Чеславская Агния Альбертовна, младший научный сотрудник НИЧ, тел.: 89086463061, e-mail: Chaa@istu.edu
Cheslavskaya Agnia, Junior Researcher of the Research Division, tel.: 89086463061, e-mail: Chaa@istu.edu

⁴Шмаков Андрей Константинович, кандидат технических наук, доцент кафедры самолетостроения и эксплуатации авиационной техники, тел.: 89140074508, e-mail: Shmakov@istu.edu
Shmakov Andrei, Candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of Aircraft Construction and Operation, tel.: 89140074508, e-mail: Shmakov@istu.edu

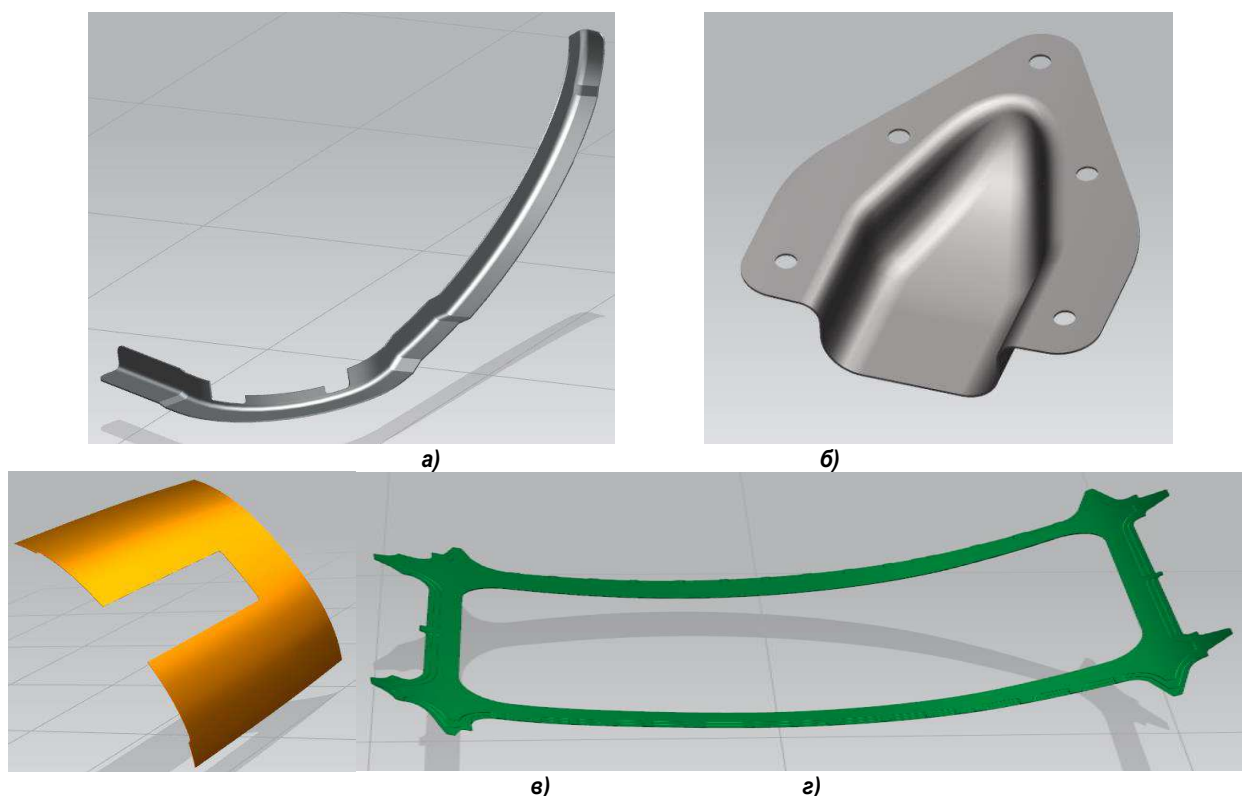


Рис. 1. Типовые детали планера самолета из листовых полуфабрикатов

Применение программного комплекса PAM-STAMP для разработки точной заготовки потребовало сформировать способ виртуального разворачивания профильных деталей на плоскость. Для этого понадобилось реализовать два этапа. На первом этапе разворачивались борта и подсечки на эквидистантную поверхность вспомогательного виртуального фланца, а на втором – поверхности фланца на виртуальную плоскость. Рассчитанный контур служит для создания управляющей программы, необходимой при изготовлении точной развертки на станке с ЧПУ (рис. 2).

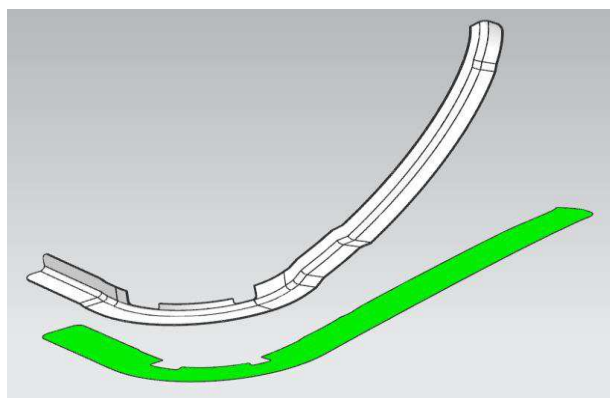


Рис. 2. Деталь и развертка в системе геометрического моделирования

В результате проведенных работ был отработан способ формирования развертки практически без технологических припусков профильных деталей с очень сложной пространственной формой, что позволило сократить трудоемкость изготовления деталей такого класса.

В авиастроении изготовление листовых деталей из титановых сплавов является сложным и трудоемким процессом, что обуславливает актуальность поиска рациональных технологических процессов изготовления подобных деталей. Применение средств технологического анализа и CAE-систем, которые позволяют моделировать варианты процесса формоизменения заготовок и проследить поведение материала, значительно ускоряет поиск таких процессов.

С помощью программного комплекса PAM-STAMP проведено технологическое моделирование и виртуальный анализ технологического процесса производства деталей типа «Обтекатель», выполненных из листа OT4-1 толщиной 0,5 мм (см. рис. 1,б).

Существующий технологический процесс предполагал применение штамповки на листоштамповочном молоте МЛ-2 из заготовок, нагретых до температуры 550–700°C, за 5–7 ударов с посадкой образующихся гофров после каждого удара. После получения требуемой формы и обрезки припусков проводится термофиксация для снятия остаточных внутренних напряжений и придания окончательной формы. Технологический анализ формовки-вытяжки на МЛ-2 показал, что на детали остаются гофры, а также наблюдается значительное пружинение, требующее длительных ручных доводочных работ (рис. 3).

В качестве альтернативного варианта было предложено применять для изготовления данных деталей групповую пневмотермическую формовку в режиме сверхпластичности.

Моделирование показало, что пневмотермической формовкой в режиме сверхпластичности возможно изготовление деталей без гофров и остаточного пружинения.

жинения (рис. 4). Кроме того, установлено, что деформационной способности металла, несмотря на малую толщину заготовки, достаточно для формовки без разрушения. На экспериментальной базе ИрГТУ были изготовлены реальные детали. Причем детали были отформованы по рассчитанной управляющей программе с первого раза без технологических проб и опытной отработки с высоким качеством поверхности без гофров, не проявляется эффект пружинения (рис. 5).

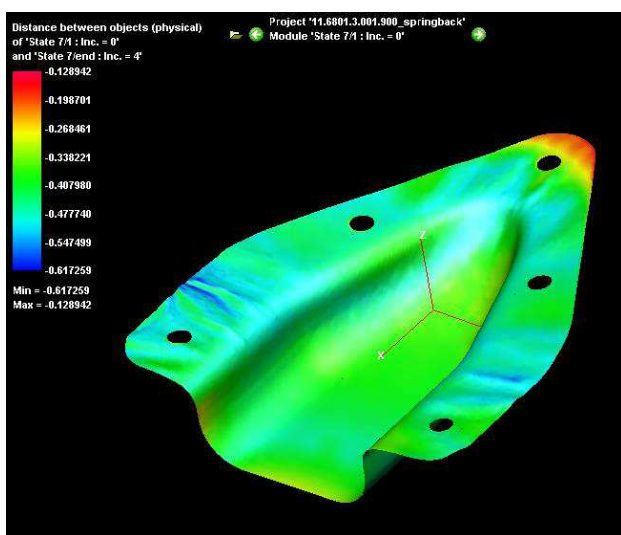


Рис. 3. Деталь, изготовленная на листоштамповочном молоте

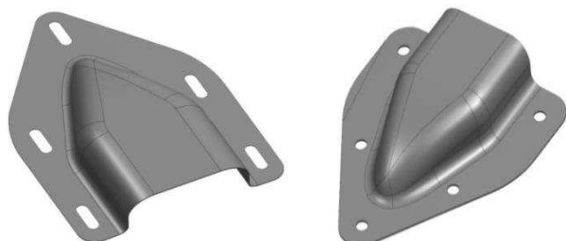


Рис. 4. Электронные модели деталей «Обтекатель»



Рис. 5. Детали, изготовленные на базе ИрГТУ

Таким образом, предложенный альтернативный вариант технологического процесса изготовления обтекателей обеспечивает производство низкотехнологичных деталей из труднообрабатываемых титановых сплавов.

При формообразовании обтяжкой требуемая форма детали копируется с обтяжного пуансона, при этом пружинение приводит к возникновению больших погрешностей. Из-за сложной формы деталей определить величину пружинения детали достаточно сложно, поэтому традиционно оснастку изготавливают с номинальными размерами, а заданный контур детали доводят вручную. Моделирование поведения заготовки в процессе обтяжки позволяет прогнозировать величину пружинения заготовки по всей поверхности.

Конечно-элементный технологический анализ с помощью программного комплекса PAM-STAMP обшивки (см. рис. 1,в) из листа алюминиевого сплава Д16АМ толщиной 1,5 мм показал, что в пределах очертания контура детали максимальное пружинение составило 9 мм, что превышает допустимую величину погрешности более чем в четыре раза.

Для устранения погрешности на детали был реализован итерационный процесс компенсации пружинения в оснастке, который позволил уменьшить погрешность изготавливаемой детали до приемлемой величины (рис. 6).

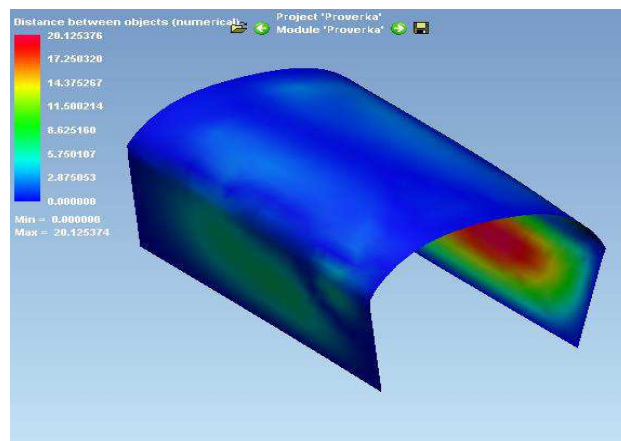


Рис. 6. Результат компенсации оснастки (верхняя часть свода)

Величина пружинения существенно возрастает при обтяжке толстых обшивок. Так,

анализ формообразования деталей типа «Окантовка» (см. рис. 1,г) из листа алюминиевого сплава 1163 толщиной 8 мм с помощью программного комплекса PAM-STAMP показал, что при изготовлении детали за один переход из плоской заготовки пружинение может достигать 292 мм (рис. 7). Формообразование из плоской заготовки нерационально, требуется предварительная прокатка на валковой машине и разбиение процесса обтяжки на переходы.

Применение обтяжки предварительно согнутой заготовки за два перехода уменьшает величину пружинения до 3,54 мм (рис. 8). Для такой толстой детали погрешность превышает допуск в 3,5 раза. Поэтому выполнена процедура расчета геометрической модели обтяжного пуансона, позволяющей уменьшить величину погрешности, вызванной пружинением, до допустимой величины (рис. 9).

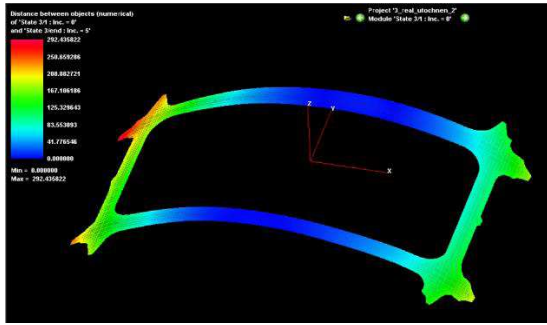


Рис. 7. Распределение величин пружинения на детали, получаемой из плоской заготовки. Максимальное пружинение 292 мкм

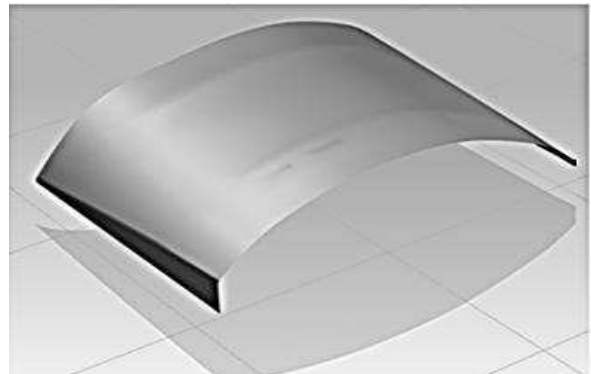


Рис. 9. Геометрическая модель рабочей поверхности обтяжного пуансона, откорректированная по пружинению

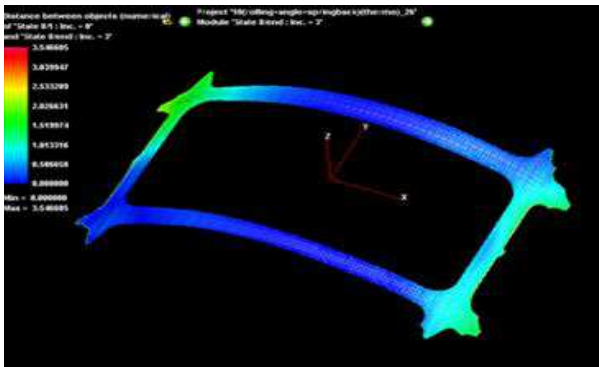


Рис. 8. Распределение величин пружинения на детали, получаемой из предварительно прокатанной заготовки. Максимальное пружинение 3,54 мм

Кроме того, благодаря отработанному в ИрГТУ способу комбинированного моделирования с помощью специальной программы S3F, предназначенной для создания управляющих программ для обтяжных прессов типа FET и программного комплекса RAM-STAMP, стало возможным достаточно точно учитывать деформации, возникающие в детали (рис. 10) и в пуансоне (рис. 11) в процессе обтяжки, что дополнительно повышает точность формуемых обшивок и снижает объем доводочных работ.

Максимальная деформация в зоне очертавания детали составляет 6% .

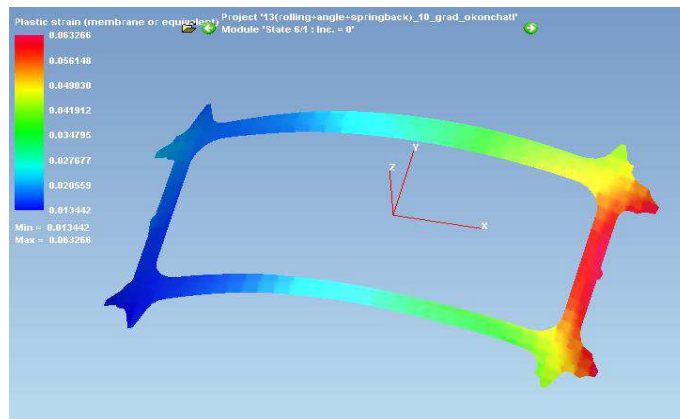


Рис. 10. Распределение деформаций на поверхности детали. Максимальная деформация детали 6%

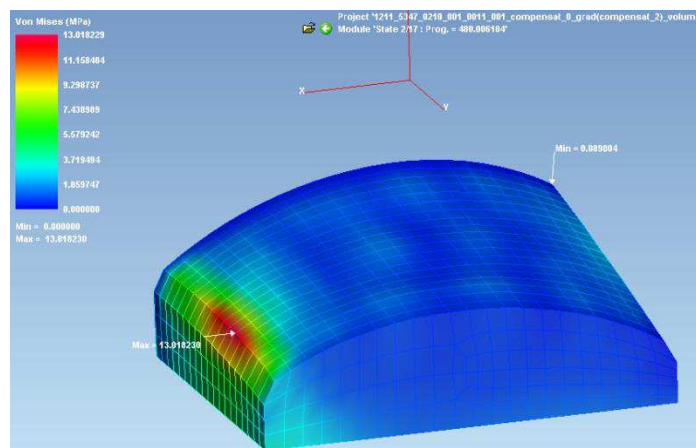


Рис. 11. Распределение напряжений на пуансоне



Таким образом, отработанная в ИрГТУ технология применения средств технологического моделирования позволит при ее реализации в условиях авиастроительного производства снизить трудоемкость и затраты ресурсов при производстве самолетов и вертолетов.

Представленная в рамках данной статьи работа проводится при финансовой поддержке правительства Российской Федерации (Минобрнауки Рос-

сии) по комплексному проекту 2012-218-03-120 «Автоматизация и повышение эффективности процессов изготовления и подготовки производства изделий авиатехники нового поколения на базе Научно-производственной корпорации «Иркут» с научным сопровождением Иркутского государственного технического университета» согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218.

Библиографический список

1. ТР 1.4.1936-89. «Автоматизированное проектирование обтяжной оснастки для формообразования обшивок повышенной точности».

УДК 621.73, 621.77

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОЦЕСС ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ОБЪЁМНОЙ ШТАМПОВКОЙ СРЕДСТВАМИ ВИРТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

© **И.В. Колмогорцев¹, А.К. Шмаков²**

Иркутский государственный технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Приведены результаты виртуальной отработки процессов деформирования при объёмной горячей штамповке, представлены выводы о связи основных технологических параметров процессов горячей объёмной штамповки и теплового состояния деформируемой заготовки, а также напряжённого состояния инструментов. Описан выявленный эффект кратковременного возникновения локальных зон перегрева материала заготовки во время деформирования. Предложен метод определения рационального объёма заготовки, исходя из критериев заполнения гравюры и напряжений, возникающих в инструментах.

Ил. 9. Библиогр. 5 назв.

Ключевые слова: формовка; объёмная штамповка; объёмная штамповка с нагревом; технологические параметры.

STUDYING EFFECT OF MAIN TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON DIE FORGING OF PARTS BY MEANS OF VIRTUAL SIMULATION

I.V. Kolmogortsev, A.K. Shmakov

Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

The article gives the results of virtual testing of deformation under hot die forging, introduces the conclusions on the relationships of the main technological parameters of hot die forging and the thermal condition of the workpiece being deformed, as well as the stress state of the tools. It describes the effect of short-term occurrence of areas of localized overheating of workpiece material during deformation. A method for determining a rational workpiece volume based on the criteria of cavity fill and the stresses arising in the tools is proposed.

9 figures. 5 sources.

Key words: forming; die forging; heated die forging; technological parameters.

Обработка методами объёмной штамповки характеризуется большим количеством факторов, влияющих на ход формообразования, высокой чувствительностью деформирования к этим факторам. Обработка таких технологических процессов в условиях реального производства выполняется методом последова-

тельных проб, что приводит к значительным затратам материальных ресурсов, труда и значительной продолжительности работ. Даже принятые к реализации технологические процессы могут оставаться неоптимальными из-за имевшихся ограничений по времени и материальным ресурсам на отработку. Основной за-

¹Колмогорцев Илья Владимирович, программист УНЦ «Autodesk» кафедры самолётостроения и эксплуатации авиационной техники, тел.: 89041587798, e-mail: ivk@istu.edu

Kolmogortsev Ilya, Programmer of Educational and Scientific center "Autodesk" of the Department of Aircraft Construction and Maintenance, tel.: 89041587798, e-mail: ivk@istu.edu

²Шмаков Андрей Константинович, кандидат технических наук, доцент кафедры самолётостроения и эксплуатации авиационной техники, тел.: 89140074508, e-mail: shmakov@istu.edu

Shmakov Andrei, Candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of Aircraft Construction and Maintenance, tel.: 89140074508, e-mail: Shmakov@istu.edu