

комерційний продукт, у світі досяг 1 трлн дол., а прибутковість складає 300—1200 %. Звідси вимальовується ще одна причина, яка гальмує розвиток ринку продажу українських космічних технологій на внутрішньому і зовнішньому ринку — незадовільний рівень захисту прав інтелектуальної власності та проблеми передачі технологій.

Отже, для того щоб космічна діяльність відповідала своїй меті, а саме: сприяла соціально-економічному та науковому прогресу держави, зростанню добробуту громадян, забезпечувала довгострокові інтереси держави у сфері національної безпеки та обороноздатності, сприяла вдосконаленню освіти, брала участь у розв'язанні загальних потреб людства, необхідно здійснювати виважені заходи з інтеграції у дуже витратній сфері ракетобудування. Це дозволить примножити ресурсний потенціал країни, забезпечити власну безпеку, уникнути відставання в даному секторі промисловості, підвищити її конкурентоспроможність та ефективність, зберегти технологічні комплекси із усталеними зв'язками та робочі місця.

1. Закон України «Про космічну діяльність» // Відомості Верховної Ради України.—1997.—1.
2. Закон України «Про державну підтримку космічної діяльності» // Голос України.—2000.—Квітень.—№ 74(2321).
3. Економіка України за 11 місяців 2000 року // Урядовий кур'єр.—2000.—Грудень.—№ 238.
4. Исаченко И. И. Космос и экономика: (характер взаимодействия в условиях капитализма). — М.: Мысль, 1979.—228 с.
5. Інформаційний бюлетень державного комітету статистики України. 1999.—Жовтень—грудень.—№ 10—12.—С. 61—71.
6. Якубовський М. М. Структурна перебудова економіки: інвестиційний аспект // Моніторинг інвестиційної діяльності в Україні.—2000. № 1.—С. 10—19.
7. Anselmo J. C. NASA funds reseach for Shuttle successor // Aviation and Space Technology.—7.—P. 31—32.
8. ESA budgets for Ariane 5 updatetes / Funiss Tim // Flight Int.—2000.—N 4713.—P. 34.

#### SPACE INDUSTRY DEVELOPMENT IN ORGANIZATION SCHEME OF UKRAINIAN NATIONAL ECONOMY

O. E. Dzhur

There were considered the theoretical aspects of forward-looking development of the space industry in the organization scheme of the Ukrainian national economy. The trends for the improving of the efficient use of the scientific and technical base are shown. Economic and politic peculiarities of space industry development are formulated.

УДК 629.7.(017.1+023.2)

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЕЙ С СОТОВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ С УЧЕТОМ ПОГРЕШНОСТИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

© А. Н. Колоскова

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ»

Зараз в літако- і ракетобудуванні широко застосовуються тришарові конструкції з сотовим заповнювачем. Досліджуються можливості врахування при проектуванні таких конструкцій технологічних похибок їхнього виготовлення. Запропоновано методику оптимізації допусків на виготовлення сотового заповнювача тришарової панелі із забезпеченням заданої несучої здатності конструкції. Подаються результати розрахунку оптимальних допусків для випадку комбінованого навантаження стиском і зсувом.

Самолетостроение является одной из важнейших для экономики Украины отраслью, сложной по своему составу и динамике развития. Развитие самолетостроения тесно связано с многочисленными областями науки, техники и технологии. Особенностью авиационной техники является постоянное усложнение конструкции, повышение требований к ее надежности и ресурсу. Это влечет за собой удорожание всего комплекса создания летательного аппарата.

Требованиями экономической эффективности использования авиационной техники диктуется постоянное повышение полезной нагрузки самолета, чего можно достигнуть снижением массы конструкции с обязательным сохранением ее несущей способности. В настоящее время в самолетостроении широко применяются конструкции с сотовым заполнителем, изготовленные с применением композиционных материалов.

Многочисленные исследования и опыт эксплуата-

ции этих конструкций позволили выявить их основные преимущества. Среди большого количества существующих заполнителей соты обладают наиболее высокими удельными характеристиками прочности, жесткости и специальных свойств (звуко- и теплоизоляция, вибростойкость, теплостойкость и др.) [11]. Несущие слои, подкрепленные заполнителем, воспринимают высокие напряжения сжатия, превышающие предел упругости материала [4, 6—10].

Одним из важнейших условий обеспечения длительного срока надежной эксплуатации летательного аппарата является конструктивное совершенство планера, и в первую очередь его высоконагруженного агрегата крыла. Несущая способность кессона крыла при эксплуатационных нагрузках определяется совершенством его конструктивных элементов — панелей, подкрепленных силовым набором [2], однако перспективной является трехслойная конструкция с сотовым заполнителем и обшивкой из композиционных материалов [7, 10].

На крыло самолета в полете действуют массовые и аэродинамические силы в форме изгибающего и крутящего моментов и перерезывающей силы. Воздействующие усилия вызывают в обшивке кессона сжимающие и сдвиговые напряжения. Основной формой разрушения панели обшивки является потеря устойчивости.

Для определения критических усилий сжатия и сдвига была использована модифицированная методика ЦАГИ [5], в которой использован вариационный принцип для вывода уравнений устойчивости многослойных пластин и цилиндрических панелей.

Одной из характеристик, влияющих на устойчивость трехслойной панели, являются модули сдвига сотового заполнителя, определяемые формулами [7]:

$$\begin{aligned} G_{xz}^0 &= \frac{a_c + b_c \cos \beta}{(a_c + b_c) \sin \beta} \frac{t G_m}{a_c}, \\ G_{yz}^0 &= \frac{b_c \sin \beta}{a_c + b_c \sin \beta} \frac{t G_m}{a_c}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $a_c$ ,  $b_c$  — величина стороны шестигранной ячейки;  $t$  — толщина фольги сотового заполнителя;  $\beta$  — угол растяжки;  $G_m$  — модуль упругости материала сот.

Производство конструкций с сотовым заполнителем включает в себя ряд технологических операций [1, 8], идеальное выполнение которых невозможно. Каждая из них вносит определенные технологические погрешности, регламентируемые соответствующими допусками (рис. 1).

Изготовление сотового заполнителя осуществля-

ется из готовых (поставляемых) полуфабрикатов: в случае наиболее распространенных конструкций с металлическим сотовым заполнителем — алюминиевой фольги и клея (или его компонентов, приготавливаемых в клеевую композицию — клеянку непосредственно перед изготовлением сотового заполнителя).

Металлическая фольга имеет допуски на толщину  $t_{-\Delta t}^{+\Delta t}$  [7] и, таким образом, вносит соответствующие погрешности в (1).

После подготовки полуфабрикатов следуют технологические операции изготовления сотового заполнителя (рис. 1). Каждая из указанных операций вносит свои погрешности (ниже не указаны те операции, которые непосредственно не влияют на параметры формул (1)).

1. Нанесение клеевых полос на фольгу.

Барабан имеет допуски на изготовление проточек  $B$  и шаг  $C$  [1], приведенные в табл. 1. Других данных в [1] не приводится, но можно предположить, что допуски имеют те же значения при  $a_c > 4$  мм, поскольку барабан изготавливают на оборудовании, обеспечивающем определенную постоянную точность. При нанесении клеевых полос возникают погрешности в  $a_c$  за счет допусков на  $B$ . Фактическая сторона ячейки  $a_c$  будет иметь размер  $(a_c \pm \Delta a)$ . Вследствие этого, а также за счет допусков на шаг  $C$ , будут иметь место погрешности и в фактическом размере  $b_c$ :  $(b_c \pm \Delta b)$ .

Таблица 1. Допуски изготовления проточек  $B$  и шаг клеевой полосы  $C$

$a_c$ , мм	$B$ , мм	$C$ , мм
2.5	$2 \pm 0.05$	$10 \pm 0.05$
4	$3.5 \pm 0.05$	$16 \pm 0.05$

2. Совмещение фольги с клеевыми полосами в пакет по сборочным отверстиям (СО).

При совмещении фольги по СО имеют место погрешности, связанные со смещением листов вправо или влево (равновероятно), что вызывает в реальном пакете систематическую погрешность  $\Delta$ . Эти погрешности приведут в дальнейшем при растяжке сотового заполнителя к смещению (искажению) ячеек. При этом предсказать эти смещения по толщине пакета не представляется возможным.

3. Прессование при повышенной температуре пакета.

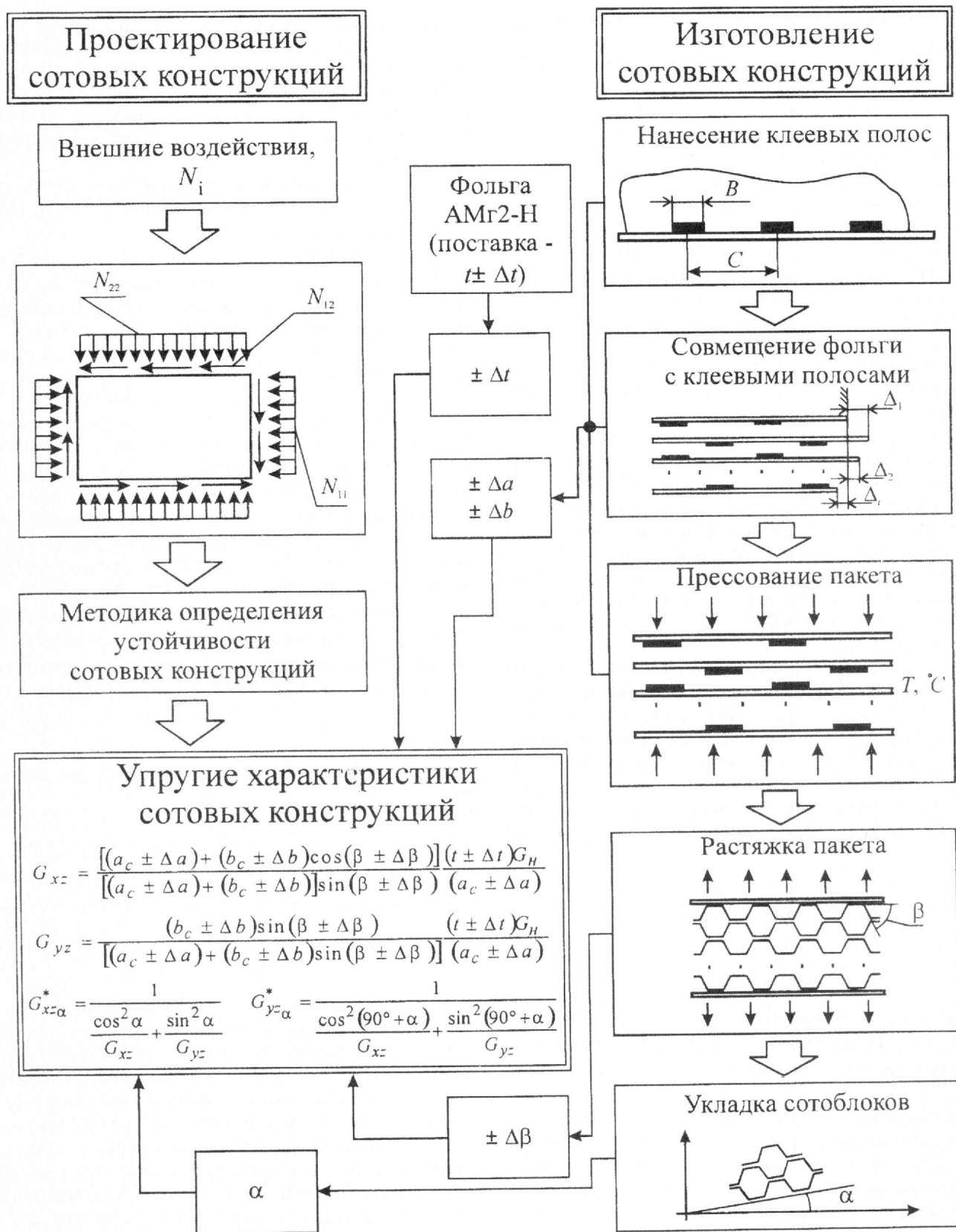


Рис. 1. Схема проектирования сотовых конструкций с учетом технологии их изготовления

В процессе прессования могут расширяться клеевые полосы. В [1] для  $a_c = 2.5$  мм предусмотрено  $B = 2 \pm 0.05$  мм, для  $a_c = 4$  мм принято  $B = 3.5 \pm 0.05$  мм.

После изготовления сотовакета из металлической фольги его чаще всего нарезают фрезерованием на полосы регламентированной высоты ( $h_s \pm \Delta h$ ), или поставляют заказчику блоком, и разрезка производится на производстве изготовителя сотовой конструкции — панели, оболочки и т. д.

После разрезки осуществляется растяжка полосы и ее термообработка для фиксации угла растяжки  $\beta$ . При этом возникает и фиксируется погрешность ( $\beta \pm \Delta\beta$ ).

Растянутые блоки после нанесения клея на торцы заполнителя укладываются на нижний (опорный) несущий слой трехслойной панели с некоторой погрешностью  $\pm\alpha$ .

В результате формулы (1) принимают следующий вид:

$$G_{xz}^* = \frac{1}{\frac{\cos^2 \alpha}{G_{xz}} + \frac{\sin^2 \alpha}{G_{yz}}}, \quad (2)$$

$$G_{yz}^* = \frac{1}{\frac{\cos^2(90 + \alpha)}{G_{xz}} + \frac{\sin^2(90 + \alpha)}{G_{yz}}},$$

где  $G_{xz}$  и  $G_{yz}$  имеют вид [3]:

$$G_{xz} = \frac{[(a_c \pm \Delta a) + (b_c \pm \Delta b) \cos(\beta \pm \Delta\beta)] (t \pm \Delta t) G_m}{[(a_c \pm \Delta a) + (b_c \pm \Delta b) \sin(\beta \pm \Delta\beta)] (a_c \pm \Delta a)},$$

$$G_{yz} = \frac{(b_c \pm \Delta b) \sin(\beta \pm \Delta\beta) (t \pm \Delta t) G_m}{[(a_c \pm \Delta a) + (b_c \pm \Delta b) \sin(\beta \pm \Delta\beta)] (a_c \pm \Delta a)}. \quad (3)$$

Однако все нерегулярности учесть теоретически трудно. Сегодня вопрос о качестве сотового заполнителя открыт: нет обоснованного квалиметрического показателя сотового заполнителя [3].

Сотовый заполнитель является функциональным элементом системы — сотовой конструкции, которая работает при определенных сочетаниях сжимающих  $N_{11}$  и сдвиговых  $N_{12}$  усилий, используемых при теоретических расчетах геометрических параметров несущих слоев и заполнителя при условии, что  $G_{xz}^0$  и  $G_{yz}^0$  соответствуют «идеальному» сотовому заполнителю, определенному формулами (1).

На сотовую панель размером в плане  $a \times b = 0.6 \times 0.4$  м действуют вполне определенные из силовой схемы конструкции нормальные  $N_{11}^0$  и касательные  $N_{12}^0$  погонные усилия. При этом соотношении  $N_{11}^0/N_{12}^0$  происходит потеря устойчивости

панели с данными геометрическими параметрами несущих обшивок, толщиной и геометрией сотового заполнителя.

Технологические отклонения в геометрии сотового заполнителя при реализации методики определения критических усилий (ЦАГИ)  $N_{11}^0$  и  $N_{12}^0$  [5] вызовут изменение критических усилий до величин  $N_{11}$  и  $N_{12}$ , причем эти значения по-прежнему взаимозависимы, что позволяет рассматривать отклонения их от  $N_{11}^0$  и  $N_{12}^0$  только для одного из критических погонных усилий, для определенности —  $N_{12}$ .

Исходя из того, что допустимые отклонения нагрузок, как правило, не превышают 10 %, можно записать:

$$\left| \frac{N_{12} - N_{12}^0}{N_{12}^0} \right| \leq 0.1. \quad (4)$$

Таким образом, задача количественной оценки качества сотового заполнителя сводится к:

— определению предельных отклонений  $\Delta a$ ,  $\Delta b$  и  $\Delta t$ , при которых выполняется условие (4). Это определит качество технологии производства сотового заполнителя. Сотовый заполнитель можно считать высококачественным в производстве, если положить в (2)  $G_{xz}^T$  и  $G_{yz}^T$ , равные

$$G_{xz}^T = \frac{[(a_c \pm \Delta a) + (b_c \pm \Delta b) \cos \beta] (t \pm \Delta t) G_m}{[(a_c \pm \Delta a) + (b_c \pm \Delta b) \sin \beta] (a_c \pm \Delta a)}, \quad (5)$$

$$G_{yz}^T = \frac{(b_c \pm \Delta b) \sin \beta (t \pm \Delta t) G_m}{[(a_c \pm \Delta a) + (b_c \pm \Delta b) \sin \beta] (a_c \pm \Delta a)},$$

где  $G_{xz}^T$  и  $G_{yz}^T$  — значения модуля сдвига сотового заполнителя, обеспечиваемые технологией при обеспечении требуемого угла растяжки  $\beta$ ;

— определению качества изготовления сотовой конструкции, при котором (4) выполняется при  $G_{xz}^*$ ,  $G_{yz}^*$ , определяемых по формулам (2) с учетом (3), но при этом  $\Delta a$ ,  $\Delta b$ ,  $\Delta t$  уже должны соответствовать, полученным в (5). И первая и вторая задачи могут быть решены на ЭВМ, например, методом случайного поиска.

Был проведен анализ точности изготовления сотовой конструкции. В качестве расчетного случая

Таблица 2. Значения технологических погрешностей при изготовлении конструкции с сотовым заполнителем

Параметр сот	$a_c$ , мм	$b_c$ , мм	$t_c$ , мм	$\alpha$ , град	$\beta$ , град
Численное значение	2; 2.5; 3	2; 2.5; 3	0.3	0	60
Погрешность	0.05	0.05	0.004	3	3



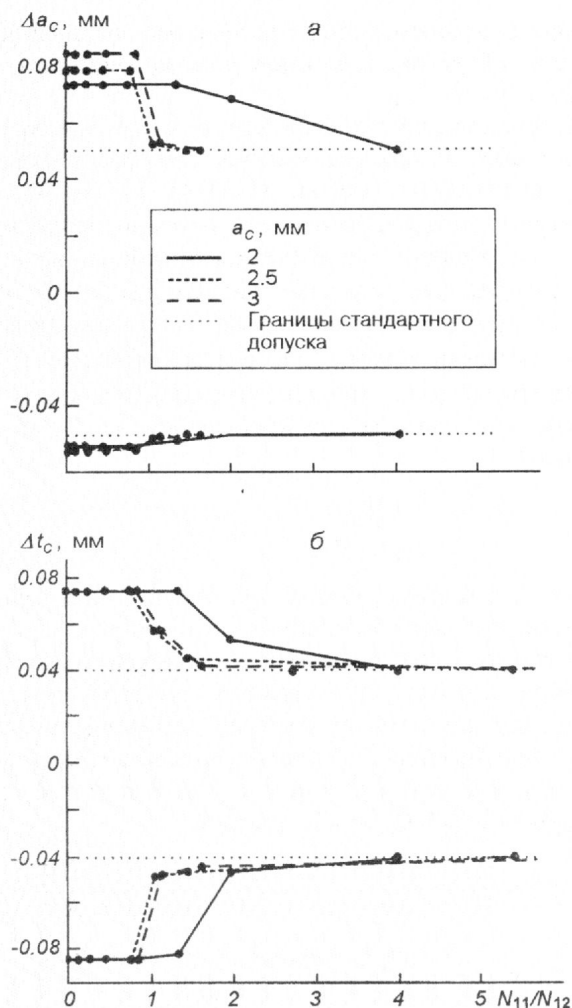


Рис. 2. Зависимость предельного значения допуска на размеры сот (а) и допуска на толщину фольги (б) от сжимающего усилия

рассмотрена трехслойная конструкция с сотовым наполнителем из алюминиевой фольги и несущими слоями из тканого углепластика. В табл. 2 приведены значения технологических погрешностей при изготовлении таких конструкций.

Как было показано ранее, технологические погрешности разделяются на две группы, связанные с изготовлением сотового пакета и конструкции с сотовым наполнителем соответственно. Была решена задача определения предельных отклонений  $\Delta a_c$ ,  $\Delta b_c$  и  $\Delta t_c$ , связанных с изготовлением сотового пакета, при которых выполняется условие (4). Для упрощения численного эксперимента в расчетах  $\Delta a_c$  и  $\Delta b_c$  были приняты равными. Результаты численного эксперимента представлены в виде графиков (рис. 2).

Как видно из графиков, предельные значения допусков  $\Delta a_c$ ,  $\Delta t_c$  для различных размеров ячеек сотовой конструкции в интервале соотношения нагрузок  $0 \leq N_{11}/N_{12} < 1.5$  имеют одинаковое значение, которое превышает стандартный допуск по этим параметрам (чем больше значение стороны ячейки сот, тем больше расчетное предельное отклонение). Однако при значительном уровне усилий сжатия предельные допуски резко снижаются.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что принятые в технологическом процессе допуски на изготовление сотового пакета (табл. 2) обеспечивают с большим запасом заданную несущую способность конструкции при  $0 \leq N_{11}/N_{12} < 1.5$ , однако в области высоких значений  $N_{11}/N_{12}$  может потребоваться очень большая точность изготовления наполнителя.

При изготовлении авиационной техники основной сложностью является соблюдение конструктивных требований, предъявляемых к ней, в частности точности ее изготовления. Расширение диапазонов допусков на изготовление авиационных конструкций позволит понизить стоимость их производства без потери несущей способности. Внедрение после необходимого уточнения описанной методики в производство позволит в будущем повысить прибыль от авиационных перевозок.

1. Берсудский В. Ф., Крысин В. Н., Лесных В. Е. Технология производства сотовых конструкций. — М.: Машиностроение, 1982.—244 с.
2. Весельский С. И., Еремеев Н. Б., Цирюк А. А. Алгоритмическое и программное обеспечение расчета и проектирования панелей крыла самолета при комбинированном нагружении // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч. тр. Харьк. Гос. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского (ХАИ). — Харьков, 1999.—Вып. 5—С. 96—105.
3. Гайдачук А. В., Сливинский В. И. О концепции квалиметрии и управления качеством производства сотовых наполнителей и конструкций. // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: Сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского (ХАИ). — Харьков, 2000.—Вып. 23(6).—С. 59—65.
4. Ендогур А. И., Вайнберг М. В., Иерусалимский К. Н. Сотовые конструкции. Выбор параметров и проектирование. — М.: Машиностроение, 1986.—200 с.
5. Иерусалимский К. М., Синицин Е. Н. Устойчивость трехслойных пластин и цилиндрических панелей из композиционных материалов при комбинированном нагружении // Ученые записки ЦАГИ.—1973.—4, № 4.—С. 65—72.
6. Кобелев В. Н., Коварский Л. М., Тимофеев С. И. Расчет трехслойных конструкций. — М.: Машиностроение, 1984.—304 с.
7. Панин В. Ф., Гладков Ю. А. Конструкции с наполнителем. Справочник. — М.: Машиностроение, 1991.—272 с.
8. Сидоренкова М. А., Сливинский В. И. Технология производства трехслойных сотовых конструкций. — Харьков: ХАИ, 1997.—58 с.
9. Сливинский В. И. Научно-технические предпосылки создания

в Украине наукоемкой технологии и производства сотовых заполнителей и конструкций на их основе для различных отраслей промышленности // Технологические системы. — 1999. — 2. — С. 16—18.

10. Сливинский В. И., Прегат В. В., Ткаченко Г. В. Сотовые заполнители. Классификация, применение, расчет физико-механических характеристик. — К.: ЦМТИ «Поиск», 1990. — 43 с.
11. Сливинский В. И., Ткаченко Г. В., Колоскова А. Н. Объективные предпосылки эффективного применения сотовых конструкций // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: Сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского (ХАИ). — Харьков, 2001. — Вып. 25(2). — С. 109—115.

#### DESIGNING OF TRIZONAL PANELS WITH HONEYCOMB TAKING INTO ACCOUNT THEIR MANUFACTURING ERRORS

A. N. Koloskova

The trizonal designs with honeycomb filler are widely applied now in the aircraft and spacecraft manufacturing. The opportunities of the account at the designing such designs of the technological errors of their manufacturing are investigated. The method of tolerances optimization on the manufacturing of trizonal panel honeycomb filler with ensuring of the given design carrying ability is offered. The calculations results of the optimum tolerances for combined loading by compression and shift are submitted.

УДК 621.3

## УТОЧНЕННЯ НАПРЯМКІВ РОЗРОБКИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

© Л. В. Накашидзе, Г. І. Зарівняк, С. О. Митрохов

Науково-дослідний інститут енергетики Дніпропетровського національного університету

Розглянуто умови добору режиму роботи фотоелектричних модулів з енергетичної та економічної точки зору.

Висока енергетична ефективність — важлива, але не визначальна вимога до системи перетворення енергії. Вирішальним показником вибору тієї або іншої системи перетворення сонячної енергії є вартість одиниці її потужності.

Зменшення вартості фотоелектричних систем (ФЕС) можна досягнути як здешевленням виробництва сонячних елементів і модулів, так і за рахунок використання концентраторів сонячного випромінювання. Застосування концентраторів дозволяє зменшити площу сонячних елементів (СЕ) та їхню кількість, проте підвищення температури і пов'язане з цим зниження коефіцієнта корисної дії сонячних елементів, наявність системи охолодження та орієнтації зменшує позитивний ефект використання концентрації. При проектуванні ФЕС підхід до вибору концентратора повинен бути диференційованим. Необхідно враховувати цілий ряд чинників, які впливають на енергетичні та економічні характеристики фотоелектричної станції: зменшення вимог до точності орієнтації на Сонце, узгодження характеру розподілу щільності опромінення приймача з конструкцією сонячних елементів; узгодження спектральних характеристик сонячних елементів із світловим потоком, розподіл щільності потоку, сконцентрованого у фокальній

площині, ККД концентратора та відбиту ним енергію. Проте остаточно все зводиться до економічної доцільності застосування концентратора з конкретним сонячним елементом. При ухваленні рішення про його використання в кожному конкретному випадку вибір з економічної точки зору типу концентратора є вирішальним.

Було розглянуто та проаналізовано характеристики концентраторів різних типів.

*Параболіди (псевдопараболіди)*; дозволяють при варіюванні форми концентратора одержувати рівномірний або тороїдальний розподіл енергії у фокальній площині. При збільшенні коефіцієнта концентрації зростають вимоги до точності орієнтації системи на Сонце. Для цього типу концентраторів максимальна припустима неузгодженість дорівнює  $\pm 2.5'$ .

*Лінзи Френеля лінійчаті (ЛФЛ)*; сучасні технології дозволяють одержувати ККД лінз 60...70 %. Використання ЛФЛ у складі оптичної системи дозволяє зменшити габарити модулів. ЛФЛ можна використовувати як для теплових, так і для комбінованих модулів. Припустимі кутові відхилення: поперечне  $\pm 5^\circ$ , поздовжнє  $\pm 20^\circ$ .

*Лінзи Френеля кільцеві пластмасові (ЛФКП)*; дають високі концентрації при заданому розподілі