

ОБЗОР СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

A.S. Debrin, A.V. Bastron,
V.N. Ursegov

THE REVIEW OF SOLAR PANELS AND PHOTO-ELECTRIC STATIONS OF DOMESTIC PRODUCERS

Дебрин А.С. – асп. каф. электроснабжения сельского хозяйства Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: debrin.as@yandex.ru

Бастрон А.В. – канд. техн. наук, доц. каф. электроснабжения сельского хозяйства Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: abastron@yandex.ru

Урсегов В.Н. – ассист. каф. электроснабжения сельского хозяйства Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: ursegov@mail.ru

Debrin A.S. – Post-Graduate Student, Chair of Power Supply of Agriculture, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: debrin.as@yandex.ru

Bastron A.V. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Power Supply of Agriculture, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: abastron@yandex.ru

Ursegov V.N. – Asst, Chair of Power Supply of Agriculture, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: ursegov@mail.ru

В статье представлены результаты аналитического обзора технических характеристик солнечных панелей (модулей) и фотоэлектрических станций (ФЭС) различных производителей. Цель исследования – обзор солнечных панелей и фотоэлектрических станций отечественных производителей для эффективного их использования в системах электроснабжения сельских потребителей. Задачи: изучение рынка солнечных панелей и фотоэлектрических модулей, производимых в России; сравнение их характеристик; определение наиболее эффективных фотоэлектрических модулей из существующих на данный момент. Сравнение проводилось по нескольким показателям, таким как массогабаритные показатели, КПД, стоимость, срок службы. Для выявления наиболее эффективных солнечных панелей, представленных на российском рынке, провели анализ характеристик монокристаллических, мультикристаллических солнечных модулей, монокристаллических солнечных модулей повышенной эффективности, гибких солнечных модулей, гетероструктурных солнечных модулей, а также сэндвич-панелей некоторых наиболее крупных отечественных производителей, таких как ЗАО «Телеком-СТВ» (г. Зеленоград), Hevel (г. Новочебоксарск, Чувашия), АО «ЗМКП» (г. Рязань), ОАО «Сатурн» (г. Краснодар), АО «НПП «Квант» (г. Москва) и АО «Термотрон-завод» (г. Брянск). В результате аналитического исследования наиболее эффективными показали себя гетероструктурные солнечные панели, производимые компанией Hevel, г. Новочебоксарск, Республика Чувашия. Коэффициент полезного действия этих панелей при схожих габаритах составил 22,6, против 17 % у обычных монокристаллических панелей; при этом стоимость гетероструктурной панели мощностью 290 Вт составила 23700 рублей, тогда как у монокристаллической – 27450 рублей; гарантированный срок службы панелей Hevel составляет 25 лет при снижении мощности на 30 %, тогда как у других производителей – 10 лет.

Ключевые слова: энергетика, возобновляемые источники энергии, энергия солнца, фотоэффект, фотоэлектрическая станция, солнечная батарея, солнечный модуль.

The study presents the results of analytical review of technical characteristics of solar panels (modules) and photovoltaic stations (PVS) of various manufacturers. The purpose of the study is reviewing solar panels and photovoltaic stations of Russian manufacturers for their effective use in power supply systems of domestic producers for rural consumers. The research objectives are studying solar panels market and photovoltaic modules manufactured in Russia; the comparison of their characteristics; finding out the most effective photoelectric modules at the moment. The comparison has been made in several indicators, such as the size, efficiency, cost, service life. For the identification of the most effective solar panels presented on the Russian market the analysis of characteristics of single-crystal, multicrystalline solar modules, monocrystalline solar modules of increased efficiency, flexible solar modules, heterostructural solar modules, and also sandwich panels of the largest domestic producers, such as JSC 'Telecom-STV' (Zelenograd), 'Hevel' (Novocheboksarsk, Chuvashia), JSC 'ZMKP' (Ryazan), JSC 'Saturn' (Krasnodar), JSC NPP 'Kvant' (Moscow) and JSC 'Termotron-plant' (Bryansk) has been carried out. As a result of analytical research heterostructural solar panels made by Hevel company, Novocheboksarsk, the Republic of Chuvashia proved to be the most effective ones. The efficiency of these panels at similar dimensions makes 22.6 %, compared to 17 % at conventional single-crystal panels; thus the cost of 290 W heterostructural panel makes 23700 rubles, whereas at monocrystalline it makes 27450 rubles; guaranteed life service of Hevel panels makes 25 years at power deceleration by 30 % whereas at other manufacturers it makes 10 years.

Keywords: electrical engineering, renewable sources of energy, solar energy, photo effect, photo-electric station, solar battery, solar module.

Введение. Из всех отраслей народного хозяйства энергетика оказывает самое большое влияние на нашу жизнь. Энергообеспечение – это основа нормального функционирования любого производства, а следовательно, и всей человеческой цивилизации.

Тепло и свет в домах, работа станков и агрегатов на производстве, транспортные потоки и сельская страда – все это многочисленные проявления энергетики.

С возрастанием потребности в энергии производство ее из традиционных источников все губительнее сказывается на экологическом состоянии планеты. Тепловые электростанции, выделяющие в процессе работы огромные количества углекислого газа, вызывают парниковый эффект, являющийся причиной глобального потепления климата. Еще более опасны и непредсказуемы атомные электростанции, выбрасывающие в атмосферу около 26 тонн радиоактивных отходов в день. Кроме этого, велик риск аварий на АЭС, могущих стать катастрофой для всего человечества. Все это вызывает справедливую тревогу экологов. Другой проблемой традиционной энергетики, использующей главным образом ископаемые виды топлива – нефть, газ, уголь, является истощение их запасов, которые далеко не бесконечны. Потребление нефти в мире в течение одного года эквивалентно ее количеству, образуемому за 2 млн лет. Истощение ресурсов повышает себестоимость и трудоемкость добычи, а также сокращает объемы добываемого топлива. Сокращение запасов природных энергоресурсов, неизбежное загрязнение окружающей среды поставили человечество перед необходимостью поиска и использования новых возобновляемых источников энергии. По прогнозам экспертов, к 2020 году энергии потребуется почти в три раза больше, чем в настоящее время. Кризис 70-х годов XX века стал первым вестником энергетического кризиса, вызвавшим повышенный интерес к альтернативным возобновляемым источникам энергии. Такими источниками являются: солнечная энергия, энергия ветра, гидроэнергия, энергия биомассы и др. [1].

С 2009 года в нашей стране действует Распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 января 2009 г. № 1-р, в котором говорится об утверждении основных направлений государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2024 года (в ред. Распоряжения Правительства РФ от 28.07.2015 № 1472 - р) [2].

Как показали исследования, проведенные Красноярским государственным аграрным университетом [3–5], на территории Красноярского края имеются районы, где использование фотоэлектрических станций (ФЭС) целесообразно, особенно при электроснабжении автономных потребителей сельскохозяйственной отрасли, осуществляемом от дизельных и бензиновых электрических станций.

Цель исследований. Обзор солнечных панелей и фотоэлектрических станций отечественных производителей для эффективного их использования в системах электроснабжения сельских потребителей.

Задачи исследований: изучить рынок солнечных панелей и фотоэлектрических модулей, производимых в России; сравнить их характеристики; определить наиболее эффективный фотоэлектрический модуль из существующих на данный момент.

Методика и результаты исследований. Основными показателями солнечных панелей являются эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую (коэффициент преобразования), стоимость самой панели, её срок службы и вес.

Информация о рассмотренных производителях, представляющих свою продукцию на рынке ФЭС, представлена в таблице 1.

Таблица 1

Обзор производителей солнечных панелей российского производства

Производитель 1	Краткая информация о продукции 2
ЗАО «Телеком-СТВ» (г. Зеленоград) [6]	Российская компания «Телеком-СТВ» производит продукцию в среднем на 30 % дешевле, чем немецкие аналоги. Цены начинаются от 5 600 руб. за панели на 100 Вт. Такие панели имеют КПД до 20–21 %. Данный производитель запатентовал технологию изготовления кремниевых пластин диаметром до 15 мм и солнечных модулей на их основе [13]
Hevel (г. Новочебоксарск, Чувашия) [7]	Компания «Хевел» открыла инновационное производство микроаморфных тонкопленочных батарей, такие солнечные модули более эффективно улавливают лучи рассеянной энергии в сравнении с моно- или поликристаллами из кремния. Одно из преимуществ пленочных батарей Hevel – малая толщина и привлекательный внешний вид. Поэтому их часто используют для облицовки фасадов зданий в качестве резервного источника электричества. Стоимость панели Hevel начинается от 9000 руб. В ассортименте представлены также поликристаллические панели «Хевел», цена их ниже, КПД также понижен, их рекомендуют для загородных домов и территорий, где количество солнечных дней в году превышает 300 [13]
АО «ЗМКП» (г. Рязань) [8]	Рязанский завод металлокерамических приборов функционирует с 2002 года, перешел на систему международного контроля качества ISO 9001 и выпускает панели строго в соответствии с ее требованиями, а также с нормами ГОСТ 12.2.007-75. В прейскуранте компании можно найти две актуальные модели «RZMP» мощностью 130 и 220 Вт. Их КПД варьируется от 12 до 17,1 %. Наносятся солнечные элементы на окрашенную алюминиевую основу методом последовательного соединения. «RZMP 130-Т» подходит для автономного снабжения отдельных помещений, бытовых приборов (например, нагревательный котел). Более мощная модель, от 220 до 240 Вт, покупается чаще для резервного снабжения всего дома. Ее стоимость варьируется от 13200 до 14400 руб. за модуль [13]

Окончание табл. 1

1	2
ОАО «Сатурн» (г. Краснодар) [9]	ОАО «Сатурн» использует две собственно освоенных технологии производства – на основе монокристаллического выращенного кремния или арсенид-галлиевые с германиевой подложкой. Последние показывают максимально высокие характеристики и используются для снабжения ответственных объектов (АЗС, предприятия непрерывного цикла и т.д.). Оба типа модулей можно выполнить на любом каркасе, от сетки и пленки до металлических (из анодированного алюминия) и струнных типов. На предприятии «Сатурн» можно заказать как сборные модули на крышу коттеджа, так и миниатюрные солнечные панели для датчиков, преобразователей, изделий электротехники, а также аккумуляторные батареи [13]
АО «НПП «Квант» (г. Москва) [10]	НПП «Квант» первым предложило производство кремниевых солнечных батарей с 2-сторонней чувствительностью, а также монокристаллы арсенида галлия. Наиболее популярной моделью сегодня выступает «Квант КСМ» и ее модификация КСМ-180П. Стоимость такой батареи не превышает 18000 руб., срок службы достигает 40 лет [13]
ООО «Витасвет» (г. Москва) [11]	Московское предприятие ООО «Витасвет» выпускает одну базовую модель SSI-LS200 P3 в четырех вариациях мощности: от 225 до 240 Вт. Каждый модуль состоит из 60 кремниевых пластин типа мультикристалл и крепится на алюминиевый профиль. Стоимость – 12800 руб. за панель мощностью 240 Вт [13]
АО «Термотрон-завод» (г. Брянск) [12]	Предприятие производит автономные системы уличного освещения на солнечных батареях и мини-автономные солнечные станции. Первые поставляются на базе серийных модулей с высокой столбовой опорой. Автономная станция «Экотерм», выпускаемая заводом, будет интересна владельцам загородных домов и участков. Ее применяют также на фермах, телефонных станциях, для оснащения сельских школ, больниц, магазинов. Станция работает от дизель-генератора 14,5 кВт. Цена вырабатываемой энергии при количестве 18 фотопреобразовательных элементов – 5,12 руб/кВтч, срок окупаемости – до 5 лет [13]

Для того чтобы выявить наиболее эффективные солнечные панели, представленные на российском рынке, проведем анализ характеристик солнечных модулей некоторых наиболее крупных производителей.

Одним из ключевых производителей является ЗАО «Телеком-СТВ» (г. Зеленоград), характеристики солнечных модулей которого приведены в таблицах 2–5.

Таблица 2

Монокристаллические солнечные модули [6]

Модель	Мощность, Вт	КПД, %	$U_{хх}$, В	$U_{макс}$, В	$I_{макс}$, А	Габариты, мм	Вес, кг	Цена, руб.
TSM-15	18	14-20	23	19,6	0,9	438x298x40	1,45	3516
TSM-40	44		22	18,5	2,4	618x538x40	4,05	6400
TSM-170A	175		23	18,5	9,3	1468x663x40	12,1	19908
TSM-170B	175		46	37	4,75	1468x663x40	12,1	20097
TSM-280A	280		40	32	8,7	1633x996x40	18,5	26580
TSM-290A	290		41	32	9,0	1633x996x40	18,5	27450

Таблица 3

Мультикристаллические солнечные модули [6]

Модель	Мощность, Вт	КПД, %	$U_{хх}$, В	$U_{макс}$, В	$I_{макс}$, А	Габариты, мм	Вес, кг	Цена, руб.
TSM-10	13	18-20	21	17	0,60	426x232x40	1,45	3020
TSM-30	30		22	17	1,65	376x653x40	3,1	5128
TSM-130B	130		45	36	3,8	1303x673x40	10,3	15696
TSM-150A	150		23	18	8,4	1468x663x40	12,1	16272
TSM-200B	200		42	34	5,7	1338x988x40	17,4	20640
TSM-250A	250		37	31	8	1633x996x40	18,5	23081

Монокристаллические солнечные модули повышенной эффективности [6]

Модель	Мощность, Вт	КПД, %	U_{xx} , В	U_{\max} , В	I_{\max} , А	Габариты, мм	Вес, кг	Цена, руб.
TSM-30S	33	20	20,5	16,2	1,95	439x469x40	3	7680
TSM-105S	108		22	19	5,5	1183x563x40	8,4	16932
TSM-160S	165		36,5	29	5,75	1358x663x40	10,8	23364
TSM-210SA	210		22	19	11	1578x815x40	15,4	28329
TSM-230SB	230		44	38	6	1578x815x40	15,4	29777

Таблица 5

Гибкие солнечные модули [6]

Модель	Мощность, Вт	КПД, %	U_{xx} , В	U_{\max} , В	I_{\max} , А	Габариты, мм	Вес, кг	Цена, руб.
TSM-15F	16	14-17	21	17	0,9	265x600x1,5	0,33	5597
TSM-60F	64		21	17	3,45	1100x420x1,5	1	15550
SM-90F	95		20,5	16,5	5,5	1100x575x1,5	1,1	18161
TSM-115F	115		24	20	5,7	1210x575x1,5	1,2	21163
TSM-210F	215		46	38	5,5	830x1620x2	2,8	31708

Одной из перспективных на данный момент является компания Hevel (г. Новочебоксарск, Чувашия). Характеристики различных солнечных модулей, производимых данной компанией, приведены в таблицах 6–8.

Гетероструктурный солнечный модуль. Компания разработала новую технологию производства солнечных модулей на основе гетероперехода HJT.

Модули нового поколения сочетают преимущества тонкопленочной и кристаллической технологий. КПД

ячейки составляет 22 %, мощность модуля – 300–320 Вт (рис.). С практической точки зрения технология гетероструктур дала ошеломляющие результаты уже на этапе первых экспериментов: в то время как мощность обычных тонкопленочных фотоэлементов составляет 125 Вт, гетероструктурный элемент дает почти 300 Вт с батареи той же площади.



Гетероструктурный солнечный модуль HVL 300 (24 В, 300 Вт) [7]

Очень эффективно преобразование солнечной энергии в электричество, ибо КПД более 20 % у батарей промышленного производства – это уже не шуточный результат, тем более сейчас это уже не просто лабораторный экспериментальный единичный образец, а выпускаемый на линии продукт.

При всем при этом стоимость производства в 1,5 раза меньше, чем у обычных кремниевых ячеек, благодаря

уменьшению толщины напыляемых рабочих слоев. У обычных элементов на стекло наносился аморфный кремний толщиной 300 нм плюс микрокристаллический слой в 700 нм, а у новых элементов – наносимые слои имеют толщину максимум 7 и 20 нм соответственно [7, 14].

Характеристики гетероструктурного солнечного модуля [7]

Показатель	Значение
U _{хх} , В	43,5
U _{ном} , В	39,2
P _{ном} , Вт	270; 290; 310
Длина, мм	1671
Ширина, мм	1002
Вес, кг	19
КПД, %	22,3–22,6
Цена, руб.	23200

Гибкий солнечный элемент. Полугибкие высокоэффективные гетероструктурные солнечные элементы могут быть использованы на различных поверхностях, в том числе подвижных корпусах транспортных и плавательных

средств, в архитектурной отделке зданий и в дорожно-транспортной инфраструктуре. Лёгкие и тонкие полугибкие солнечные модули обладают высокой эффективностью и устойчивостью к различным погодным условиям [7].

Таблица 7

Характеристики гибкого солнечного элемента [7]

Показатель	Значение
U _{хх} , В	43,5
U _{ном} , В	39,2
P _{ном} , Вт	5,51-5,56
Длина, мм	156,75±0,25
Ширина, мм	156,75±0,25
Вес, г	10,2
КПД, %	22,6–22,8

Сэндвич-панели. Высокоэффективная кровельная сэндвич-панель с гетероструктурным солнечным модулем – совместная разработка группы компаний «Хевел» и белорусской компании «ИЗОБУД». Готовое и удобное в монтаже решение для энергоэффективного строительства. Сэндвич-панели широко используются в строительной

отрасли при возведении жилых домов каркасно-панельного типа, помещений складского назначения, логистических центров, спортивных сооружений, торговых площадок, вокзальных комплексов, паркингов, а также в аграрном секторе [7].

Таблица 8

Характеристики сэндвич-панели [7]

Наименование	Сэндвич-панель
U _{хх} , В	43,5
U _{ном} , В	39,2
P _{ном} , Вт	270; 290; 310
Длина, мм	1671
Ширина, мм	1002
Вес, кг	19

Заключение. Обзор солнечных панелей и фотоэлектрических станций, производимых в России, показал, что наиболее эффективными показали себя гетероструктурные солнечные панели, производимые компанией Nevel, г. Новочебоксарск, Республика Чувашия. В статье показано, что коэффициент полезного действия этих панелей при схожих габаритах составил 22,6 против 17 % у обычных монокристаллических панелей; стоимость гетероструктурной панели мощностью 290 Вт составила 23700 рублей, тогда как у монокристаллической – 27450 рублей; также гарантированный срок службы панелей Nevel составляет 25 лет при снижении мощности на 30 %, тогда

как у других производителей – 10 лет, что делает их товаром не только более привлекательным на отечественном рынке, но и конкурентоспособным на мировом рынке.

Литература

1. Solarbat: сайт. – URL: <https://solarbat.info/> (дата обращения: 6.04.2018).
2. Официальные сетевые ресурсы Президента России: сайт. – URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/51142> (дата обращения: 6.04.2018).

3. *Бастрон А.В., Гайдаш Г.В.* Эффективное использование солнечной энергии в системах тепло- и электроснабжения сельских усадебных домов и ЛПХ // Вестн. ИрГСХА. – 2015. – № 67. – С. 92–100.
4. Использование солнечных фотоэлектрических станций для автономных систем электроснабжения крестьянско-фермерских хозяйств / *А.В. Чебодаев, А.В. Бастрон, В.Н. Урсегов* [и др.] // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: мат-лы XII междунар. науч.-практ. интернет-конференции. – Красноярск, 2016. – С. 204–210.
5. *Урсегов В.Н., Бастрон А.В., Андрюхов С.К.* Разработка и испытание автономного устройства для добычи яда пчел // Вестн. ИрГСХА. – 2014. – № 65. – С. 96–101.
6. АО «Телеком-СТВ»: сайт. – URL: <http://www.telstv.ru/> (дата обращения: 5.04.2018).
7. Hevelsolar: сайт. – URL: <http://www.hevelsolar.com/> (дата обращения: 5.04.2018).
8. АО «Рязанский завод металлокерамических приборов» (РЗМКП): сайт. – URL: <http://www.rmcp.ru/about/> (дата обращения: 5.04.2018).
9. ОАО «Сатурн»: сайт. – URL: <http://saturn-kuban.ru/> (дата обращения: 5.04.2018).
10. АО «НПП «Квант»: сайт. – URL: <http://npp-kvant.ru/> (дата обращения: 5.04.2018).
11. ООО «Витасвет»: сайт. – URL: <http://www.vitasvet.ru/> (дата обращения: 5.04.2018).
12. АО «Термотрон-завод»: сайт. – URL: <http://www.vitasvet.ru/> (дата обращения: 5.04.2018).
13. Sdelayremont.ru: сайт. – URL: <http://cdelayremont.ru/obzor-solnechnyh-panelej-rossijskogo-proizvodstva> (дата обращения: 5.04.2018).
14. INGSVD.ru: сайт. – URL: <http://ingsvd.ru/main/polza/1304-solnechnye-elektrostantsii-na-geterostrukturnyh-modulyah.html> (дата обращения: 5.04.2018).

Literatura

1. Solarbat: сайт. – URL: <https://solarbat.info/> (дата обращения: 6.04.2018).
2. Oficial'nye setevye resursy Prezidenta Rossii: сайт. – URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/51142> (дата обращения: 6.04.2018).
3. *Bastron A.V., Gajdash G.V.* Jeffektivnoe ispol'zovanie solnečnoj jenerгии v sistemah teplo- i jelektrosnabzhenija sel'skih usadebnyh domov i LPH // Vestn. IrGSHA. – 2015. – № 67. – S. 92–100.
4. Ispol'zovanie solnechnyh fotojelektрических stancij dlja avtonomnyh sistem jelektrosnabzhenija krest'jansko-fermerskih hozjajstv / *A.V. Chebodaev, A.V. Bastron, V.N. Ursegov* [i dr.] // Jenergo- i resursosberezhenie – XXI vek: mat-ly XII mezhdunar. nauch.-prakt. internet-konferencii. – Krasnojarsk, 2016. – S. 204–210.
5. *Ursegov V.N., Bastron A.V., Andrjuhov S.K.* Razrabotka i ispytanie avtonomnogo ustrojstva dlja dobychi jada pchel // Vestn. IrGSHA. – 2014. – № 65. – S. 96–101.
6. АО «Telekom-СТВ»: сайт. – URL: <http://www.telstv.ru/> (дата обращения: 5.04.2018).
7. Hevelsolar: сайт. – URL: <http://www.hevelsolar.com/> (дата обращения: 5.04.2018).
8. АО «Rjazanskiј zavod metallokeramических priborov» (RZMKP): сайт. – URL: <http://www.rmcp.ru/about/> (дата обращения: 5.04.2018).
9. ОАО «Saturn»: сайт. – URL: <http://saturn-kuban.ru/> (дата обращения: 5.04.2018).
10. АО «NPP «Kvant»: сайт. – URL: <http://npp-kvant.ru/> (дата обращения: 5.04.2018).
11. ООО «Vitasvet»: сайт. – URL: <http://www.vitasvet.ru/> (дата обращения: 5.04.2018).
12. АО «Temotron-zavod»: сайт. – URL: <http://www.vitasvet.ru/> (дата обращения: 5.04.2018).
13. Sdelayremont.ru: сайт. – URL: <http://cdelayremont.ru/obzor-solnechnyh-panelej-rossijskogo-proizvodstva> (дата обращения: 5.04.2018).
14. INGSVD.ru: сайт. – URL: <http://ingsvd.ru/main/polza/1304-solnechnye-elektrostantsii-na-geterostrukturnyh-modulyah.html> (дата обращения: 5.04.2018).

УДК 539.3

А.Д. Матвеев

МЕТОД ОБРАЗУЮЩИХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

A.D. Matveev

THE METHOD OF FORMING FINITE ELEMENTS

Матвеев А.Д. – канд. физ.-мат. наук, доц., ст. науч. сотр. Института вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск. E-mail: mtv241@mail.ru

Matveev A.D. – Cand. Phys.-Math. Sci., Assoc. Prof., Senior Staff Scientist, Institute of Computing Modeling, SB RAS, Krasnoyarsk. E-mail: mtv241@mail.ru

Расчеты по методу конечных элементов (МКЭ) трехмерного напряженного состояния композитных и однородных оболочек вращения, цилиндрических оболо-

чек и конструкций больших размеров сводятся к построению дискретных моделей высокой размерности. Для понижения размерности дискретных моделей эф-