

сткам подъема КРП соответствует интенсивное образование параллельных поверхности трения трещин, минимальное упрочнение соответствует наибольшим значениям КРП. Выявлена зависимость между коэффициентом трения и КРП пар трения: с увеличением коэффициента трения КРП возрастает.

Отметим, что МДО-покрытия обладают высокими антифрикционными свойствами, однако, наличие рыхлого слоя существенно ухудшает антифрикционные свойства пары трения, в процессе эксплуатации наблюдается осыпание частиц этого слоя покрытий, в зонах трения скапливаются порошкообразные продукты износа, которые существенно повышают коэффициент трения и интенсивность износа. Поэтому при работе МДО-покрытий в парах трения рекомендуется предварительно удалять рыхлый слой механическим путем или предусматривать операцию приработки.

Заключение

На основании проведенных исследований показано, что износостойкость оксидных слоев зависит от физико-химического состояния поверхности, оказывающего влияние на величину коэффициента трения, и микротвердости слоя. Высокая твердость, низкий коэффициент трения, малая пористость и шероховатость получаемых МДО-покрытий позволяет использовать их в качестве износостойких в различных областях промышленности.

Планируется разработка способа контроля многофункциональных МДО-покрытий по совокупности контролируемых характеристик и рабочей методики испытаний износостойких покрытий, полученных микродуговым оксидированием на алюминиевых сплавах.

Список использованных источников: 1. Тихоненко В.В. Метод микродугового оксидирования / В.В. Тихоненко, А.М. Шкелько // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 2/13 (56). – С. 13-18. 2. Зенкин Н.А. Повышение эксплуатационных характеристик композиционных материалов путем оптимизации упрочняющих технологий: Монография / Зенкин Н.А., Копылов В.И. – Киев, 2002. – 271 с. 3. Хандель-Повержа З. Экзоэлектронная эмиссия при исследовании трения скольжения стали 45 / З. Хандель-Повержа, А. Перикала, М. Пурж // Трение и износ. – 1981. – Т. 11, № 1. – С. 22-26. 4. Ибрагимов Х.И. Работа выхода электрона в физико-химических исследованиях / Ибрагимов Х.И., Корольков В.А. – М: Интермет Инжиниринг, 2002. – 526 с. 5. Шкелько А.М. Экзоэмиссионная диагностика поверхности конструкционных материалов: монография / Шкелько А.М. – Харьков: НоуДиж, 2009. – 240 с. 6. Евдокимов В.Д. Экзоэлектронная эмиссия при трении / Евдокимов В.Д., Семов Ю.И. – М: Наука, 1973. – 182 с. 7. Федоров В.А. Влияние микродугового оксидирования на износостойкость алюминиевых сплавов / В.А. Федоров, Н.Д. Великосельская // Трение и износ. – 1989. – Т. 10, № 3. – С. 521-524. 8. Особенности микроструктуры упрочненных слоев, получаемых микродуговым оксидированием / В.П. Алексин, В.А. Федоров, С.И. Бульчев [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 1991. – № 5. – С. 121-126. 9. Кинетика изнашивания покрытий, нанесенных методом микродугового оксидирования / А.А. Петросян, В.Н. Малышев, В.А. Федоров [и др.] // Трение и износ. – 1984. – Т. 5, № 2. – С. 350-353. 10. Износостойкость покрытий, нанесенных анодно-катодным микродуговым методом / Г.А. Марков, В.И. Белавенцев, О.П. Терлева [и др.] // Трение и износ. – 1988. – Т. 9, № 2. – С. 286-290.

Поступила в редакцию 12.05.2012

297

УДК 621.7

Т.Л. Тринева, Ю.Г. Гуцаленко, Е.В. Балака, Харьков, Украина

СОВРЕМЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ УСКОРЕННОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЛОЖНОЙ МОДЕЛЬНОЙ ОСНАСТКИ

Наводиться огляд та приклади виконуваних в НТУ «ХПІ» розробок з прискореного виготовлення складної моделіної оснастки на основі застосування лазерних технологій послідовного генеративного формоутворення. Розробки підтримуються методикою прогнозування часу повного циклу виготовлення виробів для прийняття обґрунтованих рішень на ранніх стадіях планування та організації виробництва.

Ключові слова: модельна оснастка, прискорене виготовлення, лазерна стереолітографія, селективне лазерне спекання, час повного циклу, прогнозування.

Приводится обзор и примеры выполняемых в НТУ «ХПИ» разработок по ускоренному изготовлению сложной модельной оснастки на основе применения лазерных технологий последовательного генеративного формообразования. Разработки поддерживаются методикой прогнозирования времени полного цикла изготовления изделий для принятия обоснованных решений на ранних стадиях планирования и организации производства.

Ключевые слова: модельная оснастка, ускоренное изготовление, лазерная стереолитография, селективное лазерное спекание, время полного цикла, прогнозирование.

An overview and examples of carried out in the NTU "KPI" development of the composite pattern equipment rapid manufacturing based on the use of laser technology layered generative morphogenesis are presented. The development is supported by the methods of forecasting the full cycle time of manufacturing of products to make informed decisions in the early stages of planning and organization of production.

Keywords: model tooling, rapid manufacturing, laser stereolithography, selective laser sintering, full-time, forecasting.

Введение. Роль скорости материализации конструкторских решений в конкурентном развитии промышленности особенно возросла в соответствующих нынешнему пятому и зарождающемуся на его базе шестому технологическому укладу [1] условиях глобализации экономики и открытого информационного пространства. Основанная на лазерном спекании порошковых композиций техническая идеология быстрого прототипирования послойным формообразованием [2] заданных электронным чертежом или аналитическими виртуальными конструкциями, а также отображенных сканированием трехмерных реальностей сегодня реализуется в широкой гамме оборудования различных производителей применительно к производству твердотельных объектов из различных материалов – от полимеров до твердых сплавов.

Представленные статьи разработки опираются на практику Конструкторско-технологического бюро верификационного моделирования и подготовки производства, которое в рамках Учебно-научно-производственного объединения «Высокие технологии в машиностроении» при НТУ «ХПИ» является полигоном исследований по НИР «Разработка метода статистического

прогнозирования времени полного цикла рабочих процессов технологий лазерной стереолитографии (SLA) и селективного лазерного спекания (SLS)» (2010-2012 гг., научный руководитель профессор Грабченко А.И., номер государственной регистрации 0110U001237 (шифр M2237 в НТУ «ХПИ»). Страной-экспортером для этого КТБ первого в Украине оборудования реализации технологий SLA и SLS стала в 2001 г. Германия (3D Systems GmbH) – современный лидер европейской экономики и наиболее успешная европейская страна в условиях преодоления испытаний мировым кризисом последних лет, что не может не определять оценку актуальности и качества выполняемых в этой стране индустриальных проектов и научных исследований.

По данным одного из них, являющегося непосредственным предшественником темы M2237 и выполненного воспитанницей научной школы физики процессов резания НТУ «ХПИ» и диссертантом Магдебургского университета Кушаренко О.Н. [3], а также сайта www.werkzeug-formenbau.de в немецкоязычном сегменте Интернет, собственно германский опыт техники и технологий быстрого прототипирования генеративным металлическим формообразованием опирается на 5 основных предприятий и 10 основных поставляемых ими технологических установок (систем): кроме упомянутого выше предприятия-партнера КТБ из УНПО «Высокие технологии в машиностроении» 3D Systems GmbH (Darmstadt) с его 3D Systems Vanguard Anlage and Sinterstation 2500 plus. 230 SLS, это Concept Laser GmbH (Lichtenfels) с установками M1 CUSING, M2 CUSING, M3 Linear; EOS GmbH (Krailing) с установками EOSINT M 250 Xtended и EOSINT M 270; MCP Group HEK GmbH (Borcheln) с установками MCP Realizer 100 и MCP Realizer 250; Trumpf Laser and Systemtechnik GmbH (Ditzingen) с установками Trumaform LF 250 и Trumaform DMD 505. Рабочими металлами формообразования в возможных этих установках являются конструкционные и инструментальные стали, в том числе высококачественные и специальные, а также цветные (Ti, Al, Cu и др.) и чугуны.

Наше представление о современной организации ускоренного изготовления сложной модельной оснастки в Украине исходит, во-первых, из использования возможностей и адаптирования новейших технологий отечественной практики быстрого прототипирования для таких задач; во-вторых, – из использования адекватной этим возможностям методологии статистического прогнозирования длительности полного цикла генеративного создания изделий. Это представление опирается на собственный [4] и предшественников [5, 6] диссертационный исследовательский опыт, а также на учебно-научно-производственные результаты дипломного проектирования на базе КТБ в составе УНПО «Высокие технологии в машиностроении» и его общую практику [7].

Технологические решения быстрого прототипирования модельной оснастки. Переход к порошковым технологиям лазерного спекания модельной

оснастки потребовал проведения специальных материаловедческих исследований, ввиду неочевидности поведения традиционных материалов быстрого прототипирования при их использовании в изготовлении модельной оснастки в условиях литейного производства, где формообразующие элементы как кокилей, так и пресс-форм работают в условиях сложного термоциклического нагружения. В результате обосван выбор определенных композиционных металлических порошков (КМ) для целевого формообразования ответственных деталей модельной оснастки лазерным спеканием при их послойном формообразовании, учитывающий специфику эксплуатации модельной оснастки и обеспечивающий ее высококачественную долговечность. Например, КМ_{Fe-Cr} рекомендовано использовать как материал литейной оснастки для литья алюминиевых сплавов в единичном производстве, а КМ_{Fe-W} – для изготовления кокилей и пресс-форм при массовом производстве алюминиевых сплавов и тонкостенных чугунных отливок. Для получения литейной оснастки с повышенным сроком службы предложено инфильтрацию проводить хромистой бронзой, поддерживающей высокие эксплуатационные свойства модельной оснастки, изготовленной по маршрутной технологии с основным рабочим процессом SLS [4].

С повышением точности и качества изготовления отливок связано введение понятия и применение поправочного коэффициента отклонений размеров (К_о). Конкретные значения К_о рассчитаны для каждого типа технологий послойного лазерного формообразования, рассматриваемых установок и применяемых в них материалов. Для минимизации размерных отклонений изделий послойного лазерного формообразования от прототипов соответствующие значения К_о поправки следует взаимосвязано учитывать на стадии проектирования монолитной литейной оснастки (в расчетах размерных цепей) и основных технологий ее генеративного производства.

Для увеличения срока службы литейной оснастки за счет устранения факторов термического напряженного контакта матрицы и вставки, ускоряющего их разрушение в циклической эксплуатации, величину зазора между вставкой и матрицей предложено выбирать с учетом максимального эксплуатационного значения коэффициента термического расширения материала вставки, что следует учитывать и в виртуальном формообразующем описании прототипов соответствующих объектов основных рабочих процессов SLS.

В результате разработанных [4] материаловедческих и технологических решений, в комплексе с результатами выполненными в УНПО «Высокие технологии в машиностроении» НТУ «ХПИ» предшествующих разработок [5, 6], впервые в отечественной практике ориентированных на использование SLS как основного рабочего процесса изготовления модельной оснастки со сложной формообразующей поверхностью, в Украине стало реальностью ее высокотехнологичное ускоренное производство, обеспечивающее ей продолжительный срок службы и высокие эксплуатационные качества, позволяющие

производить отливки с улучшенной размерной и микрогеометрической инженерией поверхностей, минимальным исходной металлоемкостью и припусками на окончательную механическую обработку. Пример отображения (общий вид) форморазмерного задания литейной формы в программном пакете Solid Cast с системным использованием метода разности конечных элементов для постановки производственной задачи быстрого прототипирования приведен на рис. 1.

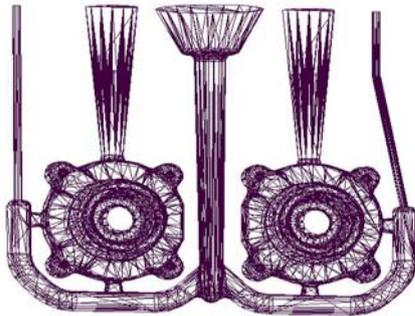


Рисунок 1 – Отливка «Крышка» с литниковопитающей системой: сеточная 3D модель (Solid Cast, [4])

Применение технологии SLS позволило в практике КТБ УНПО «Высокие технологии в машиностроении» НТУ «ХПИ» [4] отойти от традиционного модельного комплекта с подмодельной плитой и формирующим внутреннюю полость заготовки стержневым ящиком и перейти к прогрессивному модельному модулю литья в песчаные формы из единого основного формообразующего элемента (рис. 2) с понижением припуска на последующую обработку благодаря избавлению от погрешности соосности сопрягаемых стержней при сборке традиционной модельной оснастки.

Переход к производимым по технологии SLS модельным модулям позволяет конструировать разъемы любой степени сложности, выполнять внутренний контур отливки при минимальной величине погрешностей расположения, значительно уменьшить несоосность между моделью и стержнями, минимизировать погрешности формы и расположения модуля в сборе. Из опытно-экспериментальной апробации разработки технологии литья в песчаные формы на основе модельных модулей, полученных методом SLS, позволяет на 30 – 40% повысить точность отливки, в 4 – 5 раз снизить шероховатость ее поверхности, значительно сократить объем механических опера-

ций окончательной обработки. Значительное повышение качества отливок сочетается при этом с ощутимой экономией металла в их производстве.



Рисунок 1 – Рольевые варианты исполнения модельного модуля: стержневой ящик с дополнительными элементами-фиксаторами (а) и модель с подмодельной плитой (б). Лазерная стереолитография на установке SLA-5000 (3D Systems GmbH): КТБ УНПО «Высокие технологии в машиностроении» НТУ «ХПИ»

Прогнозирование времени полного цикла. Предварительные расчетные оценки времени полного цикла изготовления модельной оснастки маршрутными технологиями, основанными на селективном лазерном спекании, осуществляются в соответствии с выполненной в НТУ «ХПИ» под руководством проф. Грабченко А.И. и защищенной [6] разработкой.

Пример параметрического детерминирования обобщенной расчетной схемы применительно к конкретной задаче приведен в табл. 1, а пример комплексной прогностической оценки, включающей определение риска выполнения проекта послыюного создания изделий в установленные сроки, – в табл. 2. Оба примера взяты из реальной практики дипломного проектирования в системе подготовки специалистов в НТУ «ХПИ» на материальной базе УНПО «Высокие технологии в машиностроении» и представлены по материалам дипломных проектов специалистов инженерной механики, подготовленных студентами Крысанем М.А. (тема дипломного проекта: Разработка технологического процесса ускоренного изготовления деталей типа «маховик» для шлифовальных станков производства ООО «ХАРВЕРТ»), руководителем проф. Добросок В.Л., выпуск 2010 г.) и Балабасем Г.Г. (тема дипломного проекта: Проектирование цеха и разработка технологического процесса по изготовлению детали «щека» гидрогенератора СВ 1140-280-48УХЛ4), руководителем к.т.н. Витязев Ю.Б., выпуск 2012 г.).

В табл. 2, наряду с результатами автоматизированного расчета статистических ожиданий длительности звеньев и всей временной цепи в полном цикле изготовления изделия по рассматриваемому учебно-научно-

производственному примеру, представлены их фактические длительности в практических реализациях на производственной базе Конструкторско-технологического бюро верификационного моделирования и подготовки производства при УНПО «Высокие технологии в машиностроении» НТУ «ХПИ». Сопоставление предварительных расчетных оценок с последующей реальностью подтверждает высокую эффективность разработанной [6] прогностической методики.

Таблица 1 – Элементная параметризация при прогнозировании полного цикла изготовления изделия: объект изготовления – маховик, основная технология – SLS (по материалам дипломного проекта студента Крысаня М.А.)

Эле-мент [6]	Типы и значения параметров (ДП и СП – детерминированные (ДП) и стохастические (СП) параметры соответственно)
T_{3Dmod}	время создания электронных 3D моделей изделий – СП (нечеткий) Par1: распределение $Triang(x, X_{min}=2,000 E1, X_{mod}=3,200 E1, X_{max}=4,000 E1)$
T_{PP1}	продолжительность постпроцесса № 1 (очистка) – ДП Par3: значение 1,0000 E2
T_{PP2}	продолжительность постпроцесса № 2 (инфильтрация) – СП (нечеткий) Par4: распределение $Trapez(x, X_{min}=2,00 E1, X_{mod}=2,400 E1, X_{max}=2,800 E1, X_{max}=3,200 E1)$
T_{PP3}	продолжительность постпроцесса № 3 (доводка) – ДП Par3: значение 1,5000 E1
T_{Home}	подготовит. операции – СП Par6: распределение $Rand(x, X_{min}=2,500 E0, X_{max}=4,500 E0)$
T_{End}	заклучит. операции – СП Par7: распределение $Rand(x, X_{min}=1,000 E1, X_{max}=0,200 E0)$
Y_A	ширина рабочей области, занимаемой изделием по оси Y – ДП Par8: значение 3,500 E2
H_W	высота рабочей области, занимаемой изделием по оси Z – ДП Par9: значение 6,000 E1
S_A	площадь рабочей области, занимаемой изделием – ДП Par10: значение 2,500 E3
K_S	вероятностный коэффициент заполнения рабочей области изделием – СП Par11: распределение $Rand(x, X_{min}=0,700 E1, X_{max}=0,800 E0)$
K_Y	вероятностный коэффициент размера сечения по оси Y – СП Par12: распределение $Rand(x, X_{min}=0,300 E0, X_{max}=0,700 E0)$
D_L	диаметр пятна лазерного луча – СП Par13: распределение $Rand(x, X_{min}=0,230 E0, X_{max}=0,270 E0)$
V_L	скорость луча лазера – СП Par14: распределение $Rand(x, X_{min}=6,000 E3, X_{max}=8,000 E3)$
h_C	толщина формируемого единичного слоя – ДП Par15: значение 0,150 E0

Продолжение таблицы 1	
K_{WR}	коэффициент проходов луча при построении изделий – СП Par16: распределение $Rand(x, X_{min}=1,000 E0, X_{max}=2,000 E0)$
K_{AR}	коэффициент проходов луча при построении дополнительных технологических элементов – ДП Par19: значение 1,000 E0
h_{WP}	глубина дополнительного опускания платформы при построении изделий – СП (нечеткий) Par20: распределение $Triang(x, X_{min}=1,000 E-2, X_{mod}=0,150 E0, X_{max}=0,200 E0)$
V_P	скорость опускания рабочей платформы – СП (нечеткий) Par22: распределение $Triang(x, X_{min}=1,000 E0, X_{mod}=2,000 E0, X_{max}=3,000 E0)$
L_C	длина подвода-перебега выравнивающего элемента установки – СП (нечеткий) Par23: распределение $TriangRight(x, X_{min}=5,000 E0, X_{max}=1,500 E1)$
V_C	скорость перемещения выравнивающего элемента установки – СП (нечеткий) Par24: распределение $TriangLeft(x, X_{min}=1,600 E2, X_{max}=1,900 E2)$
T_{WD}	время выдержки при построении изделий – СП (нечеткий) Par26: распределение $Triang(x, X_{min}=1,000 E1, X_{mod}=1,200 E1, X_{max}=1,300 E1)$

Таблица 2 – Сравнительные результаты статистического прогнозирования звеньев и всей временной цепи полного цикла создания модельной оснастки с основной технологией SLS для литейной формы детали «щека» (разработка студента Балабаса Г.Г.)

Звено полного цикла времени изготовления изделия		Трудоемкость, час.	
Рабочий процесс	Символ [6]	Прогноз	Факт
Основной процесс (SLS)	T_{Form}	39,94÷75,88 при уровне риска 5,5%	51
Постпроцесс 1 (очистка)	T_{PP1}	$Rand(x, X_{min}=8, X_{max}=12)$	10
Постпроцесс 2 (инфильтрация)	T_{PP2}	$Rand(x, X_{min}=2, X_{max}=3,2)$	2,6
Постпроцесс 3 (доводка)	T_{PP3}	$Rand(x, X_{min}=12, X_{max}=16)$	15
Полный цикл	T_{Sigma}	38,61÷72,43 при уровне риска 5,4%	61

Заключение. Использование техники и технологий быстрого прототипирования с послыюным выращиванием изделий посредством избирательного лазерного плавления-спекания позволяет получать высокотехнологичную и

долговечную модельную оснастку со сложной формообразующей поверхностью при значительном сокращении сроков ее изготовления и обеспечении высокого уровня размерной точности, плотности и качества поверхности отливок. Применение методики статистического прогнозирования длительности полных циклов рабочих процессов генеративного создания изделий SLA и SLS на стадии их проектирования поддерживает конкурентоспособность технологических альтернатив быстрого прототипирования перед традиционными технологиями изготовления модельной оснастки на ранних стадиях принятия обоснованных организационно-производственных решений.

Список использованных источников: 1. Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science: NSF/DOC – sponsored report / Ed. by M. C. Roco and W. S. Bainbridge. – Arlington, Virginia: National Science Foundation, June 2002. – 424 p. – <http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/1/NBIC-report.pdf>. 2. Jacobs P.F. Rapid Prototyping & Manufacturing: Fundamentals of Stereolithography. – USA: SME, 1992. – 434 p. 3. Kushnarenko O. Entscheidungsmethodik zur Anwendung generativer Verfahren für die Herstellung metallischer Endprodukte: Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktoringenieurin / Berichte aus dem Institut für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung – der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Band 14. – Aachen: Shaker Verlag GmbH, 2009. – 167 s. 4. Тричева Т.Л. Технологические процессы изготовления литейной оснастки с использованием методов быстрого прототипирования: дис. ... канд. техн. наук: 15.16.04 – литейное производство. – Харьков, 2009. – 200 с. 5. Витязев Ю.Б. Расширение технологических возможностей ускоренного формообразования способом стереолитографии: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 – технология машиностроения. – Харьков, 2004. – 228 с. 6. Чернышов С.И. Повышение эффективности интегрированных технологий послойного выращивания изделий на основе статистического прогнозирования: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 – технология машиностроения. – Харьков, 2006. – 322 с. 7. Интегрированные технологии ускоренного прототипирования и изготовления / Л.Л. Товажнянский, А.И. Грабченко, С.И. Чернышов, Н.В. Вереzub, Ю.Б. Витязев, В.Л. Добросок, Х. Кнут, Ф. Лиерат; под ред. Л.Л. Товажнянского и А.И. Грабченко. – Харьков: ОАО «Модель вселенной», 2005. – 224 с.

Поступила в редколлегию 15.06.2012

РОТОРЫ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ПАРАМЕТРАМИ В ДИНАМИКЕ ДЛЯ КРУПНЫХ ВЕТРОВЫХ СТАНЦИЙ

In the report will be presented the investigation results of the working model of rotors with variable geometry parameters in dynamics. On the basis of aerodynamic and economic calculations the effectiveness of use of such designs for powerful wind stations is proved. The analysis of various designs and methods of selection of that or other design for various conditions of operation of wind installations in wide range of the wind speed change is given.

Известно, что со дня существования воздушных винтов остро стоит проблема создания конструкции воздушных винтов с возможностью изменения основных геометрических параметров в динамике. Это обусловлено тем, что винты фиксированного шага (ВФШ) не являются оптимальными для всех этапов эксплуатации агрегатов разного назначения. Решение этой проблемы возможно только лишь применением винта изменяемой геометрии (ВИГ), благодаря возможности одновременного изменения диаметра винта, а также угла установки и крутки лопастей в динамике.

В результате изготовления и испытания демонстрационной модели винта с изменяемыми геометрическими параметрами в динамике, нами было доказано, что например для авиации использование ВИГ дает возможность особенно эффективной оптимизации полета самолетов вертикального взлета и посадки (СВВП), обеспечением максимального диаметра и минимальной крутки в режиме висения и наоборот, минимального диаметра и максимальной крутки при горизонтальном полете. В частности при варировании диаметра ротора от 4,1 до 5,6 м и крутки лопастей в пределах $8^{\circ}-30^{\circ}$ можно увеличить грузоподъемность летательного аппарата примерно в 1,6 раза, или увеличить скорость полета 1,4 раза, или соответственно уменьшить расход топлива.

Для ветроэнергетических установок, особенно с большими мощностями, использование ВИГ-а даст возможность расширить диапазон максимальных значений КПД установки при изменении скорости ветра в большом диапазоне от 3 до 20-22 м/сек, а также обеспечить работоспособность установки при тех высоких скоростях ветра (22-35 м/сек), при которых существующие установки не в состоянии работать. Решение этой проблемы стала особенно актуальной после известной катастрофы в Фукусиме, Японии. В результате которого все ведущие страны мира стараются максимально заменить долю атомной энергии другими видами в общем энергетическом балансе. На сегодняшний день, для этой цели более эффективный метод, чем ветроэнергетика по эко-

номическим и экологическим критериям, а также потенциально возможным осваиваемым объемом энергии, к сожалению, не существует.

Проведенные предварительные аэродинамические и экономические расчеты доказывают, что с помощью использования разработанной нами конструкцией можно увеличить годовой объем выработанной каждой ветростанцией энергию минимум на 100%-ов (Рис. 1).

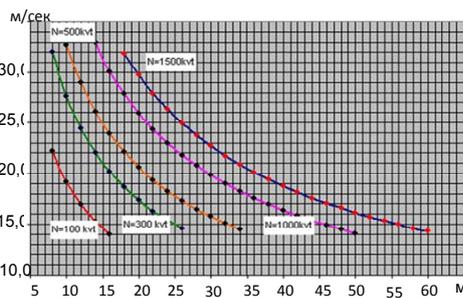


Рисунок 1 – Зависимость между диаметром ротора и скоростью потока ветра при разных мощностях установок.

Наряду многочисленных публикаций исследователей разных стран [1,2,3] о существенной эффективности использования ВИГ-а в ветроэнергетике свидетельствуют и постановления международного тематического семинара «Винт изменяемой геометрии (ВИГ)», который был проведен в Тбилиси с 13-го по 15 июля 2011 года.

Несмотря на множество работ известных фирм, и ученых разных стран, проблема ВИГ еще не решена. Существуют патенты, но нашедшие реального воплощения, главным образом из-за сложности и недостаточной надежности технических решений.

Следует учесть, что все эти фирмы занимались изменением, какого-либо одного параметра, например, фирма «Сикорский» занималась изменением только диаметра винта, а корпорация «Боинг» - изменением только крутки лопастей.

Грузинский технический университет (ГТУ) предложил сочетание изменения диаметра и крутки во время эксплуатации.

По линии международного научно-технического центра (МНТЦ) группа специалистов ГТУ работала над проектом G-060-2 «Винт изменяемой геометрии (ВИГ) и средства его управления (узлы, приводящие в действие)», коллаборатором проекта был Лео Дадоне, руководитель многих опытно-конструк-

торских работ по вертолетостроению, старший научный сотрудник, руководитель группы конструкторов, корпорации «Боинг-Роторграфт» (США).

Первоначально на этапе анализа, на основе расчленения объекта исследования был спроектирован и изготовлен макет винта с изменяемым диаметром, потом макет винта с изменяемой круткой лопастей. После лабораторных испытаний их основных узлов на этапе синтеза был создан винт с одновременно изменяемыми диаметром и круткой лопастей, а также стенд для его испытания [4].

Проведенные стендовые испытания модели ВИГ показали, что при высоких числах оборотов возникают значительные центробежные силы, действующие на ходовой винт. Ходовой винт – самый нагруженный элемент конструкции несущего винта и является слабым звеном. Снижение вредного воздействия этих сил и стало весьма актуальной проблемой. Соответственно по линии МНТЦ группа специалистов ГТУ работала над проектом G-916 «Управляемый винт изменяемой геометрии с компенсацией действия центробежных сил». Коллабораторами были Жан – Жак Филипп старший научный сотрудник, почетный советник научного центра Франции «ОНЕРА», занимающегося исследованиями и разработками вертолетов и СВВП и господин Лео Дадоне.

Целью проекта G-916 была разработка системы компенсации центробежных сил. Технический подход состоял в проведении модельного эксперимента, в котором стенд стационарно закреплен на месте. При вращении винта в режиме вентилятора были осуществлены измерения тяги в зависимости от изменения частоты вращения и диаметра винта. Это имитирует условия режима висения летательного аппарата. Из возможных принципов компенсации (механического, электрического, гидравлического) был выбран гидравлический, как наиболее гибкий в управлении [5 - 8].

На конструкцию этого варианта ВИГ-а получен Европатент Application No/Patent No 08737551.5 - 2422 PCT/IB2008001041. В настоящее время патентуется в США. Все финансовые расходы патентования взял на себя Евросоюз.

Безопасность динамических испытаний ВИГ-а была обеспечена безотказностью узлов ВИГ с системой компенсации. Для оценки безотказности был сконструирован и изготовлен стенд статических испытаний, на котором были экспериментально имитированы нагрузки, действующие при различных частотах вращения винта. Были определены линии упругости лопасти в зависимости от имитируемых частот вращения при сдвинутой и раздвинутой лопасти, а также зависимости усилий на рычаге управления стендом от имитируемых частот вращения.

Эксперименты, на стенде динамических испытаний, были проведены методом замера скорости воздушного потока крыльчатым анемометром, который для данной задачи характеризовался достаточной повторяемостью результатов измерений.