



Научно–технический журнал

ЭЛЕКТРОМЕХАНИК

№20 | октябрь 2020 | www.el-mech.ru

ИСТИННОЕ ЛИДЕРСТВО ПРОИЗРАСТАЕТ ИЗ ИНДИВИДУАЛЬНОСТИ



**СТРОИТЕЛЬСТВО –
НОВАЯ
КОМПЕТЕНЦИЯ
ПАО «ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА»**



ОГНИ РОДНОГО ГОРОДА



**ВСЕ ГРАНИ
ТАЛАНТА**
Виктора
КИСЕЛЁВА

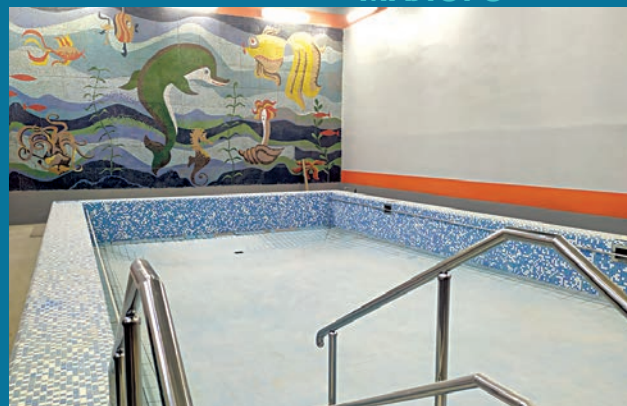


**ВРАЗРЕЗ
С ДИНАСТИЕЙ**
Александр
МАРКОВ

**УСТАНОВКИ
ПЛАЗМЕННОГО
НАПЫЛЕНИЯ УПУ**



**БОЛЬШАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ
МАЛОГО**





**Дорогие друзья,
уважаемые коллеги!**

Приближается Новый год - семейный праздник. «Электромеханика» - это тоже большая дружная семья, а все, с кем мы сотрудничаем - это друзья нашей семьи. Мы рады приветствовать каждого из вас, и каждому хотим сказать спасибо за сотрудничество, за понимание и желание идти навстречу, за наш совместный опыт и наши общие достижения. Вряд ли кто-то из нас сможет сказать, что уходящий год был простым. Вряд ли кто-то смело предположит, что следующий будет легче.

Однако мы все на это надеемся. И готовы сотрудничать дальше и помогать друг другу для того, чтобы идти вперед, по пути обретая новых друзей и партнеров, поддерживая своих коллег словом и делом.

Каждый из нас понимает, что благополучие не приходит само по себе: оно достигается в результате коллективной работы и личных свершений, в стремлении реализовать планы.

Из этих достижений складывается судьба наших предприятий, а забота о своих близких неразрывно связана с ответственностью за свой родной город и за нашу Россию - страну, которую мы любим и хотим видеть успешной и процветающей.

Пусть у каждого из Вас под бой курантов сбудутся самые заветные желания! Пусть Ваши начинания приносят свои плоды, пусть, несмотря ни на что, наступающий год будет для нас всех славным, многообещающим, стабильным и прибыльным. Пусть в работе нас ждут успехи и осуществление планов, в семьях - мир и спокойствие, в личной жизни - чудесные мгновения.

**Поздравляем вас
с Новым 2021 годом
и Светлым праздником Рождества Христова!**

Пусть эти праздники подарят вам чуть-чуть волшебства!
Будьте здоровы, оптимистичны, будьте счастливы!

А.В. КОНСТАНТИНОВ,
председатель Совета директоров ПАО «Электромеханика»,
председатель Ржевской городской Думы

Уважаемые читатели журнала «Электромеханик»!

Мы, редакционная коллегия, на страницах нашего нового выпуска снова представляем вашему вниманию технологии и разработки, над которыми трудятся специалисты ПАО «Электромеханик», а также наши коллеги и партнеры. К сожалению, традиционную научно-техническую конференцию нам провести не удалось ни в мае, ни в августе в связи с пандемией. Однако наше общение с коллегами продолжается, наши идеи, достижения и новые решения мы по-прежнему готовы донести через наш журнал и предложить для обсуждения.

Сегодня вы узнаете о новых компетенциях нашего предприятия, их несколько – это и строительство, и выпуск оборудования в сфере работы с отходами, – и мы надеемся, что в будущих номерах, когда придет время вслух сказать о начатых и завершаемых сегодня крупнейших проектах, мы сможем развить эти темы. В разделах «Наука» и «Технологии» говорится об инженерных задачах аддитивного производства, о способе управления рециркуляционным нагревом установок типа ПАП, об устройстве установок плазменного напыления. Мы традиционно знакомим вас и с сотрудниками нашего предприятия, и с социальными инициативами ПАО «Электромеханика». Мы, как и всегда, стараемся трудиться и выполнять свои обязательства с полной отдачей, несмотря на то, что нынешнее время преподносит новые сюрпризы.

Этот номер журнала, 20-й по счету, печатался в самые последние дни 2020 года. Это период, когда принято подводить итоги, суммировать достижения, подсчитывать результаты и строить планы.

Однако нынешний год оказался нестандартным во всех отношениях. Он, как многобальное землетрясение, пошатнул устои, заставив ощутить нестабильность привычных вещей, у многих попросту выбил почву из-под ног, и вместе с этим встряхнул нас всех так, что заставил по-новому видеть и ценить то, что мы имеем.

Потери этого года нам еще предстоит подсчитать. К сожалению, не только экономические. Осторожные аналитики еще осенью говорили о 6-процентном, по отношению к началу года, спаду промышленности. И для вас, читателей нашего журнала, это не просто слова. Это некая новая реальность, в которой предстоит начинать новый 2021 год. Очень непростая реальность.

Сегодняшние экономические сложности – это следствие событий, которые от нас с вами, увы, не зависели. Но сегодня именно вы можете приложить усилия, чтобы смягчить дальнейшие события, и это уже во многом зависит от вас. За вами стоят не только производства, за вами стоят трудовые коллективы – сотрудники предприятий и их семьи, территории, где расположены ваши организации. И потому от того, насколько вы окажетесь дальновидными, смелыми, энергичными, готовыми адаптироваться и, что немаловажно, неравнодушными и порядочными, зависит наше общее завтра. Завтра для каждого предприятия, города, региона и для нашей страны. Подумайте об этом.

С.В. АРТЕМЬЕВА, главный редактор журнала «Электромеханик»

**СОДЕРЖАНИЕ**

| | |
|--|-----------------|
| ГЛАВНАЯ ТЕМА _____ | 2 |
| Строительство – новая компетенция ПАО «Электромеханика» | |
| НАУКА _____ | 4 |
| Исследование процесса селективного электронно-лучевого сплавления | |
| НАУКА _____ | 14 |
| Расчет размеров порошков-гранул, изготовленных методом PREP с учетом динамического давления плазменной струи | |
| ТЕХНОЛОГИИ _____ | 18,25,32 |
| Установки плазменного напыления УПУ | |
| Управление рециркуляционным нагревом печи аэродинамических потерь | |
| От узкой специализации – к широкому применению | |
| НА СВОЕМ МЕСТЕ _____ | 23,30 |
| Вразрез с династией | |
| Все грани таланта Виктора Киселёва | |
| НОВОСТИ ОТРАСЛИ _____ | 29 |
| НАШИ ПАРТНЕРЫ _____ | 34 |
| Отрасль мусоропереработки перспективна и нуждается в новом оборудовании | |
| СОЦИАЛЬНАЯ РОЛЬ _____ | 38 |
| Большая реконструкция малого | |
| ПРАВО _____ | 40 |
| «Человек и закон»: Наказание без преступления | |
| СОЦИАЛЬНАЯ РОЛЬ _____ | 45 |
| Огни родного города | |

«Электромеханик»

Научно-технический журнал
№ 20
Октябрь 2020

Редакционная коллегия:

Светлана АРТЕМЬЕВА
(главный редактор)
Андрей КОНСТАНТИНОВ, к.т.н.
(составление, консультация)

Верстка: Светлана РОМАНОВА

Перепечатка материалов возможна только по согласованию с редакцией

Тираж 700 экземпляров
Отпечатано в ООО «Тверская фабрика печати»
Тверь, Беляковский пер., 46

Публичное акционерное общество
«Электромеханика»
172386, Россия,
г. Ржев, Тверская обл.
Заводское шоссе, 2
Тел.:
(48232) 6-57-40,
(48232) 2-29-50,
(48232) 2-06-06
Тел./факс:
(48232) 2-03-92,
(48232) 2-40-37
www.el-mech.ru
e-mail:
info@el-mech.ru

СТРОИТЕЛЬСТВО – НОВАЯ КОМПЕТЕНЦИЯ ПАО «ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА»

Ни один год для нашего предприятия не обходится без освоения нового вида деятельности, чаще – нескольких. Недавно «Электромеханика» стала... профессиональным строительным предприятием.



В 2018 году ПАО «Электромеханика» вошло в Ассоциацию «Саморегулируемая организация «Тверское объединение строителей», тем самым открыв новое направление деятельности и став профессиональным участником в сфере строительства, реконструкции, капитального ремонта, демонтажа, зданий и сооружений.

Конечно, строительством наше предприятие занималось всегда, возводя заводские корпуса для размещения собственного производства с момента основания, с 1939 года. Помимо заводской инфраструктуры бригады нашего предприятия строили объекты для города – жилые дома, учреждения культуры и спорта, социальные учреждения в Ржеве, которые функционируют и сегодня. Ре-

конструкцией и капитальным ремонтом зданий и сооружений «Электромеханика» занималась постоянно, для продления срока их эксплуатации, предотвращения разрушения конструктивных элементов и энергосбережения в непростых и с каждым годом меняющихся климатических условиях нашей средней полосы.

Около года назад наше предприятие начало реконструкцию корпуса №52, где будет располагаться малярно-покрасочный цех. Ранее это был обычный корпус старого образца, под шиферной кровлей. Согласно разработанному проекту, корпус реконструируется полностью: был усилен фундамент, установлены металлические конструкции, заново смонтированы стены и крыша. На первом этаже цеха площадью 730 квадратных метров

будут располагаться производственные, на втором – административные помещения. Учитывая назначение этого корпуса, все конструкции подбираются с учетом пожарной безопасности. Сейчас продолжаются внутренние работы по монтажу систем отопления, электроснабжения, пожарной сигнализации, вентиляции. После установки оборудования корпус будет введен в строй.

Сегодня ПАО «Электромеханика» не только строит и реконструирует собственные здания, но и выступает участником конкурсов по капитальному строительству и ремонту зданий самого различного масштаба и назначения, и не только в собственном регионе, но и далеко за его пределами.

В прошлом году ПАО «Электромеханика»



ханика» взялось за масштабный и без преувеличения беспрецедентный проект, став генеральным подрядчиком по реконструкции объекта капитального строительства АО «Красноярский машиностроительный завод», крупнейшего предприятия оборонно-промышленного комплекса России, основным видом деятельности которого является производство ракетно-космической техники. Ранее ПАО «Электромеханика», широко известное и востребованное как признанный производитель оборудования для предприятий двигателе-, авиа- и ракетостроения, являлось поставщиком высокотехнологичного (зачастую крупногабаритного) оборудования, в том числе и для АО «Красмаш». Сегодняшний контракт – это не просто изготовление и поставка уникальной установки, но и строительство целого корпуса для ее размещения. Причем строительство ведётся в городе, расположенном за тысячи километров от Ржева. Но несмотря на это, предприятие, взявшись за полный комплекс работ, решило тем самым ряд вопросов, касающихся согласований поставок, сроков и соответствия строения своему назначению, которые обычно возникают между застройщиком и поставщиком оборудования в ходе выполнения подобных контрактов. Не вдаваясь в детали строительства, можно сказать, что возводятся, по сути, два корпуса, расположенных один в другом. Площадь основного строения – 10800 квадратных метров, внутри размещены широкопролётные фермы шириной 24-36 метров высотой более 20 метров. Объект во всех отношениях нестандартный, конструктивные элементы располо-



женного внутри оборудования также превышают обычные габаритные размеры. Когда верстался номер нашего журнала, работы близились к полному завершению.

Но берясь за масштабные проекты, ПАО «Электромеханика» активно участвует и в конкурсах на выполнение работ по строительству, капремонту и оснащению рядовых учреждений, часто – социального назначения. Два года назад ПАО «Электромеханика» построило котельную мощностью 10,5 МВт для микрорайона Ржева, и сегодня она отапливает 11 жилых пятиэтажек, детсад, школу и другие объекты. В ближайшее время планируется построить еще одну подобную котельную, уже в другом городском микрорайоне.

Также в нынешнем году наше предприятие стало подрядчиком по капитальному ремонту зданий трех общеобразовательных школ в соседнем, Оленинском районе Тверской области. Раньше эти школы отапливались дровяными или

угольными печами. «Электромеханика» спроектировала и построила для каждой из них модульную котельную, оснастив ее твердотопливными котлами собственного производства. В Роголёвской, Ленинской и Молодотудской основных общеобразовательных школах наше предприятие заменило внутренние инженерно-технические коммуникации, произвело монтаж оборудования и подземную прокладку наружных инженерных сетей.

Сегодня строительство стало еще одной востребованной компетенцией ПАО «Электромеханика». В штате нашего предприятия имеются высококвалифицированные специалисты с высшим профессиональным образованием и опытом в данной деятельности, которые курируют данное направление.

Наши друзья и коллеги знают: специализацией ПАО «Электромеханика» всегда было решение нестандартных задач. Теперь мы готовы такие решения строить!



СОКОЛОВ Ю.А., д.т.н., заместитель коммерческого директора ПАО «Электромеханика»

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЕЛЕКТИВНОГО ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО СПЛАВЛЕНИЯ

Инженерные задачи исследования аддитивного производства обладают рядом особенностей, к числу которых можно отнести геометрию расчётной области, сложные физико-химические процессы, а также ограничения, накладываемые на параметры производственной системы.

(Окончание. Начало в № 19)

Модель нагрева подложек прямоугольной формы

Для процессов ЕВМ обеспечение равномерного температурного поля подложки является важной задачей. Математическое моделирование позволяет рассчитать плотность теплового потока по поверхности подложки.

В процессе регулирования теплового режима используются устройства обратной связи по температуре – блок измерения температурного поля (тепловизор) и комплект термодатчиков. Оптическая камера тепловизора, направленная на зону нагрева, обрабатывает сигналы, пропорциональные энергии излучения, и передает по цифровому протоколу информацию в компьютер.

Область подложки разбивается на малые прямоугольные элементы по горизонтали и вертикали, в каждом из них сравниваются заданная и текущая температуры. Устройство управления обрабатывает полученные данные и выдаёт управляющие сигналы.

Задачей моделирования процесса управления нагревом подложки является расчёт функций плотности теплового потока q при заданных значениях рабочей

температуры и скорости нагрева. Процесс происходит в вакуумной камере. Подложка представляет собой пластину из нержавеющей стали, которая установлена на четыре опоры. На первом этапе задаются материал (в нашем примере, нержавеющая сталь X18H9T) и размеры подложки. Разработка модели осуществляется в 3D-формате в САД-системе, например, SolidWorks. Следует отметить совместимость современных САД/САЕ систем, которая упрощает процедуру импортирования геометрической модели из 3D-пакета SolidWorks в среду ANSYS. Далее выбираются конечные элементы, задаются теплофизические свойства материалов и граничные условия. Режим решения задачи нестационарный.

Основным программным инструментом при исследовании и построении моделей является Ansys Workbench – мощный программный комплекс на основе использования метода конечных элементов. При решении системы уравнений использовался Microsoft Office Excel 2010.

Математическая модель нагрева подложки учитывает:

- ▶ радиационное тепловое излучение между нагретой подложкой и стенкой вакуумной камеры;
- ▶ теплопроводность подложки, опор;
- ▶ внешний источник тепла.

Нелинейное нестационарное уравнение теплопроводности имеет следующий вид

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\lambda \text{grad}T) + q,$$

где $c(T)$ – теплоемкость материала, $\lambda(T)$ – коэффициент теплопроводности материала, $\rho(T)$ – плотность материала, T – температура, t – время, q – плотность теплового источника.

Дополним данное уравнение необходимыми граничными и начальными условиями.

Запишем граничные условия модели. При расчёте теплообмена излучением необходимо учитывать потоки тепла в областях, попадающих на тепловые экраны, установленные в вакуумной камере установки. С поверхности подложки тепло теряется излучением по закону Стефана-Больцмана, т.е. имеем краевую задачу с нелинейным граничным условием:

$$q = \epsilon_s \sigma_s (T_1^4 - T_0^4),$$

где T_0 – температура на тепловом экране, T_1 – температура на поверхности подложки, σ_s – постоянная Стефана-Больцмана, ϵ_s – приведённая степень черноты.

Приведённая степень черноты между двумя пластинами определяется следующим образом:

$$\epsilon_{np} = 1/(1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1),$$

где ϵ_1, ϵ_2 – степень черноты соответственно первой и второй пластины.

Граничные условия математической модели представлены на рисунке:

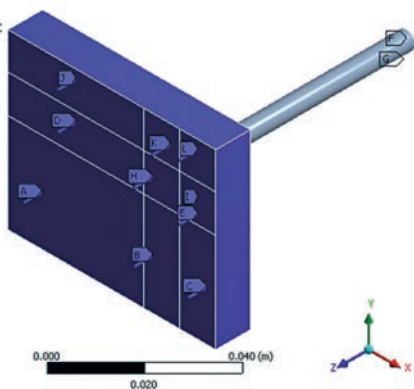
- ▶ область E (верхняя, боковые и нижняя часть подложки) – радиационное тепловое излучение на экран вакуумной камеры,
- ▶ область G (нижняя часть опоры) – конвективный теплообмен через стенки рабочей камеры с окружающей средой,
- ▶ область F – стенки рабочей камеры.

В верхней области подложки задают граничные условия второго рода (условия Неймана), соответствующие заданию на границе распределённого теплового потока. Для уравнения теплопроводности в изотропной среде оно записывается в виде:

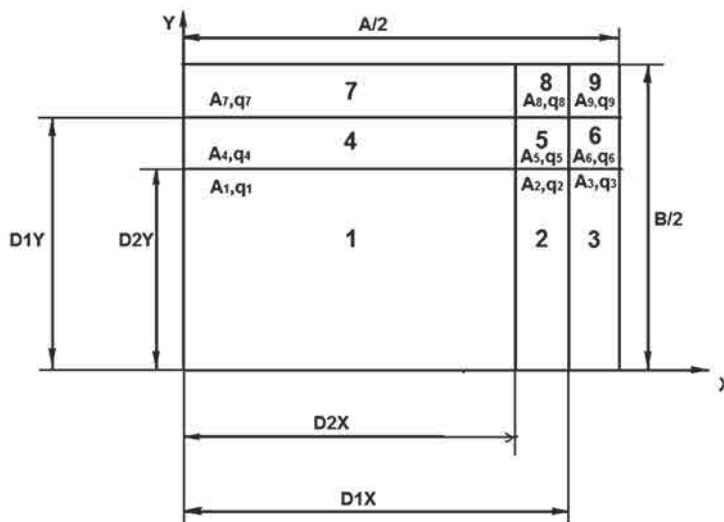
$$\lambda \partial T / \partial n = q(x, y, t),$$

A: Transient Thermal
Transient Thermal
Time: 360. s
Items: 10 of 12 indicated
8/9/2013 07:54

A q1: 1.1233e+005 W/m²
B q2: 1.1289e+005 W/m²
C q3: 1.2112e+005 W/m²
D q4: 1.1669e+005 W/m²
E Radiation: 20. °C, 0.33333
F Thermal Point Mass
G Convection: 20. °C, 100. W/m²·°C
H q5: 1.2934e+005 W/m²
I q6: 1.2345e+005 W/m²
J q7: 1.2195e+005 W/m²



Граничные условия модели



Четырёхпараметрическое разбиение поверхности подложки на девять частей

где x и y – координаты в декартовой системе рассматриваемой области подложки.

В начальный момент времени температура в точках модели равна 20°C .

Для определения формулы плотности теплового потока на поверхности подложки прямоугольной формы используется свойство симметрии и принимаются в качестве аппроксимирующей функции полиномы четных степеней от x и y :

$$q(x, y) = \sum_{i,j \in \{0,2,4\}} C_{ij} x^i y^j,$$

где $q(x, y)$ – плотность теплового потока в декартовой системе координат x и y , C_{ij} – коэффициенты полинома.

К искомым параметрам относятся геометрические (задают размеры блоков) и технологические (определяют плотность теплового потока в каждом блоке). Таким образом, необходимо решить многопараметрическую задачу оптимизации.

В основу функционирования алгоритма положен аппарат ЛП-поиска – модификация метода случайного поиска, пригодный для решения задач нелинейного программирования. В m -мерном пространстве параметров получаем множество точек (или множество формул расчёта теплового потока с различными значениями коэффициентов C_{ij}). В каждой точке пространства рассчитывается критерий $DT = T_{\max} - T_{\min}$.

Построение аппроксимирующего многочлена выполняется с учётом условия нормировки:
$$W = \int_0^{X_{\max}} \int_0^{Y_{\max}} q(x, y) dx dy,$$

где W – мощность; X_{\max} , Y_{\max} – верхние пределы интегрирования по осям X и Y .

Расчёт значений коэффициентов полинома осуществляется по формуле:

$$C = A^{-1} B,$$

где C – вектор коэффициентов C_{ij} ,

B – вектор найденных тепловых плотностей блоков q_i ,

A – матрица степеней координат блоков и нормирующих коэффициентов.

После решения системы уравнений получают значения искоемых коэффициентов C_{ij} и переходят к проверке полученного полинома: разбивают исследуемую область подложки на произвольное количество блоков, в каждом из которых рассчитывают координаты центра тяжести блока и по известным значениям коэффициентов C_{ij} рассчитывают плотности теплового потока. Получившуюся тепловую нагрузку прикладывают к поверхности подложки и рассчитывают температурное поле.

Для расчёта и визуализации результатов примем время нагрева подложки до температуры $800^\circ\text{C} - 300^\circ\text{C}$. В реальных процессах время нагрева может быть значительно больше.

Для формализации плотности теплового потока выбирают функцию вида:

$$q(x, y) = C_{44} x^4 y^4 + C_{42} x^4 y^2 + C_{24} x^2 y^4 + C_{40} x^4 + C_{04} y^4 + C_{22} x^2 y^2 + C_{20} x^2 + C_{02} y^2 + C_{00}$$

Так как полином имеет 9 неизвестных коэффициентов C_{ij} , то первый квадрант необходимо разбить как минимум на девять непересекающихся областей, сумма площадей которых равна площади квадранта. Это можно сделать с помо-

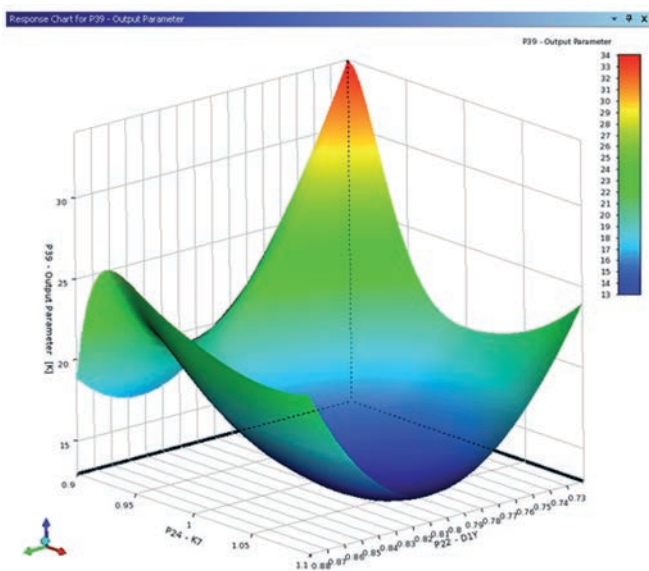
щью параметров четырёх безразмерных параметров $d1X$, $d2X$, $d1Y$, $d2Y$, которые позволяют разделить исследуемую область на 9 прямоугольных блоков: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9. Параметры $D1X$, $D2X$, $D1Y$, $D2Y$, представленные на рисунке, связаны с безразмерными следующими зависимостями:

$$D1X = d1X A/2, D2X = d2X A/2, D1Y = d1Y B/2, D2Y = d2Y B/2$$

При выводе формулы принцип оптимальности можно сформулировать следующим образом: определить такие значения искоемых параметров ($d1X$, $d2X$, $d1Y$, $d2Y$ и $q_1 - q_9$), которые обеспечили бы заданную температуру по всей площади. В частном случае для получения равномерно распределённого температурного поля необходимо подобрать такие значения коэффициентов, которые обеспечили бы минимизацию критерия $DT = T_{\max} - T_{\min}$ (T_{\min} и T_{\max} – соответственно минимальная и максимальная температура на прямоугольной поверхности подложки).

При поиске решения использовались оптимизаторы, встроенные в Ansys Workbench. Оптимизатор Ansys Workbench заполняет пространство возможных решений пробными точками, 13 координат которых изменяются в следующих диапазонах:

$$\begin{aligned} dX1_{\min} < dX1 < dX1_{\max}; & dX2_{\min} < dX2 < dX2_{\max}; \\ dY1_{\min} < dY1 < dY1_{\max}; & dY2_{\min} < dY2 < dY2_{\max}; \\ q_{1\min} < q_1 < q_{1\max}; & q_{2\min} < q_2 < q_{2\max}; & q_{3\min} < q_3 < q_{3\max}; \\ q_{4\min} < q_4 < q_{4\max}; & q_{5\min} < q_5 < q_{5\max}; & q_{6\min} < q_6 < q_{6\max}; \\ q_{7\min} < q_7 < q_{7\max}; & q_{8\min} < q_8 < q_{8\max}; & q_{9\min} < q_9 < q_{9\max}. \end{aligned}$$



Поверхности отклика параметра DT на изменение некоторых независимых параметров

Критерий DT сложным образом зависит от входных параметров, что нашло отражение на поверхностях отклика.

После завершения процедуры заполнения пробными точками оптимизатором Ansys Workbench всего пространства возможных решений переходят к окончательному выбору. В результате определяется оптимальная точка, для которой рассогласование по температуре по всей поверх-

ности составляет меньше заданного значения, например 10°C.

Распределение блоков и соответствующих им плотностей тепловых потоков, рассчитанных оптимизаторами Ansys Workbench, а также температурное поле подложки, представлены графически.

В результате решения системы уравнений, представленных выше, получают значения искомых коэффициентов:

$$C_{00} = 1,17 \cdot 10^5; C_{02} = -1,48 \cdot 10^7; C_{20} = -1,66 \cdot 10^7; C_{22} = 5,64 \cdot 10^{10}; C_{04} = 1,14 \cdot 10^{10}; C_{40} = 7,1 \cdot 10^9; C_{24} = -3,28 \cdot 10^{13}; C_{42} = -2,35 \cdot 10^{13}; C_{44} = 1,45 \cdot 10^{16}.$$

Для проверки математической модели весь прямоугольник разбивается на квадраты со стороной 10 мм. В сумме получается 30 областей, для каждой из которых на базе полинома вычисляются значения $q(x, y)$.

Визуализация распределения плот-

ности теплового потока для проверочной задачи представлена на рисунке а. В трёхмерном пространстве показана графическая зависимость теплового потока от координат x и y . График построен на площади, составляющей четвертую часть от общей поверхности нагрева. В результате при воздействии найденной тепловой плотности $q(x, y)$ было получено температурное поле.

Таким образом, предложенная методика позволяет управлять нагревом подложки на базе математической модели, вычисляет функцию плотности теплового потока от переменных x и y для обеспечения равномерного температурного поля. Контроль температуры подложки в реальном масштабе времени осуществляется с использованием датчиков обратной связи: тепловизора и термопар. Расчёт функции теплового потока позволяет разработать эффективные алгоритмы управления нагревом.

Расчёт формирования слоя с учётом теплоты фазового перехода

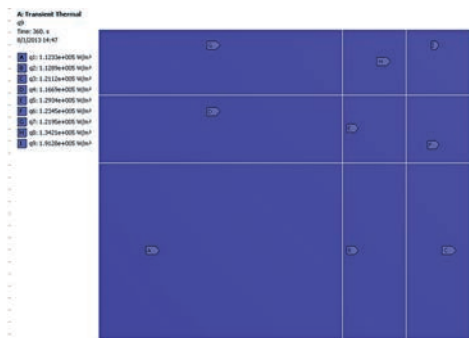
Решение задачи моделирования формирования слоя изделия позволяет определить важнейшие параметры процесса ЕВМ (скорость нагрева и охлаждения слоя порошка, время плавления и кристаллизации порошка, скорость перемещения твёрдо-жидкой границы и др.), которые определяют свойства и структуру изделия.

В качестве инструмента моделирования выбран программный комплекс ANSYS Workbench, пространственный режим расчёта динамический, тепловой режим неадиабатный.

При моделировании процесса формирования слоя задаются:

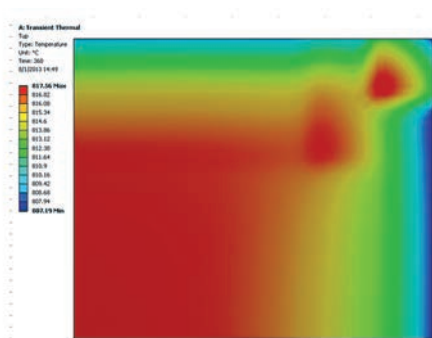
1. Теплофизические параметры: температура солидус T_{sol} , температура ликвидус T_{liq} , коэффициент теплопроводности λ , удельная теплоёмкость c_p , плотность материала ρ , приведённая степень черноты ϵ_{np} , коэффициент поверхностного натяжения σ , динамическая вязкость расплава μ ;
2. Параметры электронного пучка: ток I , ускоряющее напряжение U , диаметр пятна на мишени d_0 , скорость сканирования V_s , шаг смещения при сканировании s .

Исходные данные математической

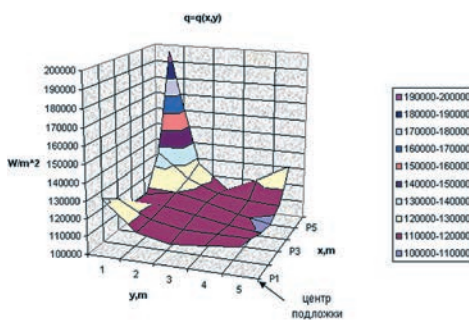


а

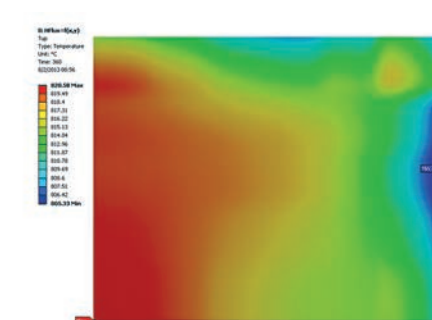
Распределение плотностей тепловых потоков (а) и температурное поле, полученное при минимизации критерия DT (б)



б

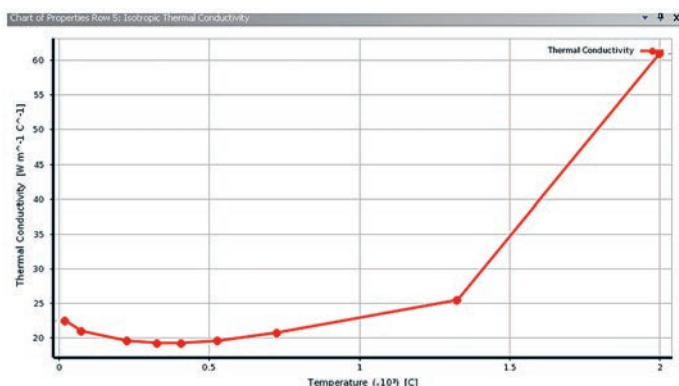


а

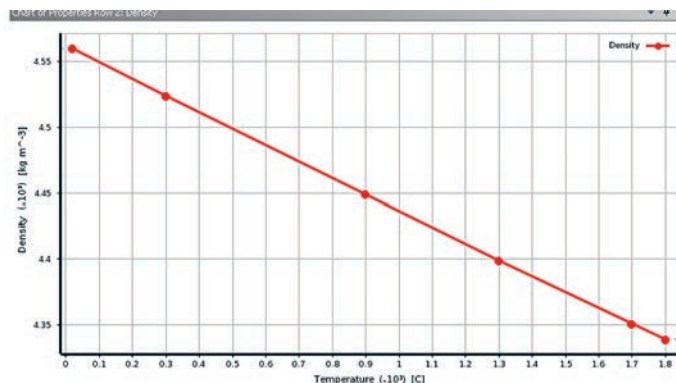


б

Проверочная задача: график $q(x, y)$ (а) и температурное поле (б) при приложении найденной функции $q(x, y)$



Зависимость коэффициента теплопроводности титана от температуры



Зависимость плотности титана от температуры

модели: материал порошка – титан, диаметр порошка – $50 \cdot 10^{-6}$ м, высота подложки – 0,1 м, температурный интервал между температурами солидус и ликвидус – 100°C , температура солидус $T_{\text{sol}} = 1570^\circ\text{C}$, температура ликвидус $T_{\text{liq}} = 1670^\circ\text{C}$. Подложка моделируется тепловой массой со значением теплового захвата – $3,4069 \cdot 10^{-2}$ Дж/°C.

Параметры электронного пучка: ток – 20 мА, напряжение – 6000 В, диаметр пучка на мишени – 1 мм, скорость сканирования – 4530 мм/с. Для моделирования был выбран элементарный объем размером $100,050 \times 1 \times 1$ мм.

К основным этапам нестационарного теплового анализа относятся: проектирование модели, задание граничных условий и тепловых нагрузок, решение задачи на основе уравнения теплопроводности и анализ результатов.

Процедура создания модели включает задание типа элементов, свойств материала и геометрии модели. Далее выполняется наложение сетки на модель (создание конечно-элементной модели) и задаются граничные и начальные условия. Так как в начальный момент времени температура модели совпадает с температурой окружающей среды, то в качестве начальной температуры для всех узлов модели принимают температуру окружающей среды.

В исследованиях приводятся нелинейная зависимость теплопроводности титана до температуры 1300° , до температуры 1660°C . Для получения значений коэффициента

теплопроводности при более высоких температурах, необходимых при моделировании процесса охлаждения частиц с учётом фазового перехода, воспользуемся полиномом 4 степени, Вт/(м К):

$$\lambda(T) = A_0 + A_1 T + A_2 T^2 + A_3 T^3 + A_4 T^4.$$

Для нахождения коэффициентов A_i используем метод наименьших квадратов. В результате решения системы уравнений с 5 неизвестными имеем:

$$\lambda(T) = 22,359 - 0,0207 T + 4 \cdot 10^{-5} T^2 - 3 \cdot 10^{-8} T^3 + 9 \cdot 10^{-12} T^4, \text{ Вт/(м град)}$$

Функциональная зависимость плотности титана от температуры имеет следующий вид:

$$\rho(T) = 4561,506 - 0,12442 T, \text{ кг/м}^3$$

Температура в формулах измеряется в градусах Цельсия. Значительные изменения теплопроводности и плотности $\rho(T)$ показывают, что система дифференциальных уравнений тепло- и массопереноса, описывающая формирование слоя порошка, существенно нелинейная.

Нелинейная зависимость теплопроводности, плотности и теплоёмкости титана от температуры видна на графиках. Для температур до 1100°C характерен участок с малыми значениями коэффициента теплопроводности, что соответству-

ет высокой скорости нагрева. При более высоких температурах наступает резкое нелинейное увеличение коэффициента теплопроводности.

Значительные изменения теплопроводности $\lambda(T)$ и плотности $\rho(T)$ показывают, что система, описывающая процесс ЕВМ, существенно нелинейная.

Для расчёта динамической вязкости титана приведем следующую формулу:

$$\mu = \frac{16}{15} \sqrt{\frac{m_A}{k_b T}} \sigma(T)$$

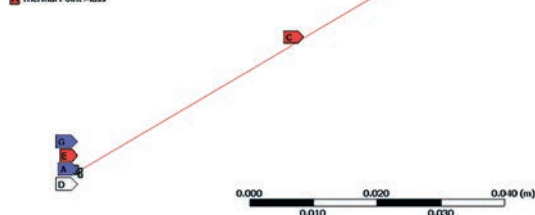
- μ – коэффициент динамической вязкости;
- m_A – атомная масса;
- k_b – постоянная Больцмана;
- T – температура;
- $\sigma(T)$ – коэффициент поверхностного натяжения расплава.

Коэффициент поверхностного натяжения частицы, равный работе, необходимой для увеличения поверхности жидкости на единицу площади при постоянной температуре, зависит от свойств расплава и охлаждаемой среды. При моделировании необходимо учитывать зависимость коэффициента поверхностного натяжения от температуры.

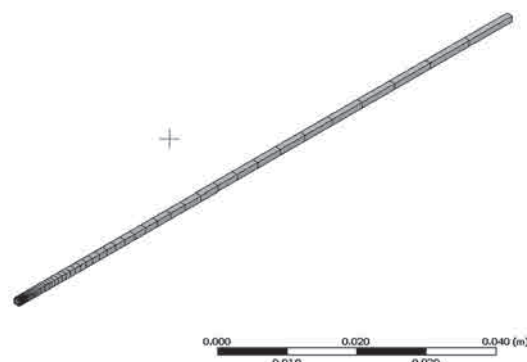
Основные физические постоянные для титана имеют следующие значения:

E: Link33 and surf and 1200W
 Transient Thermal
 Time: 1,8856e-003 s
 12/16/2013 15:09

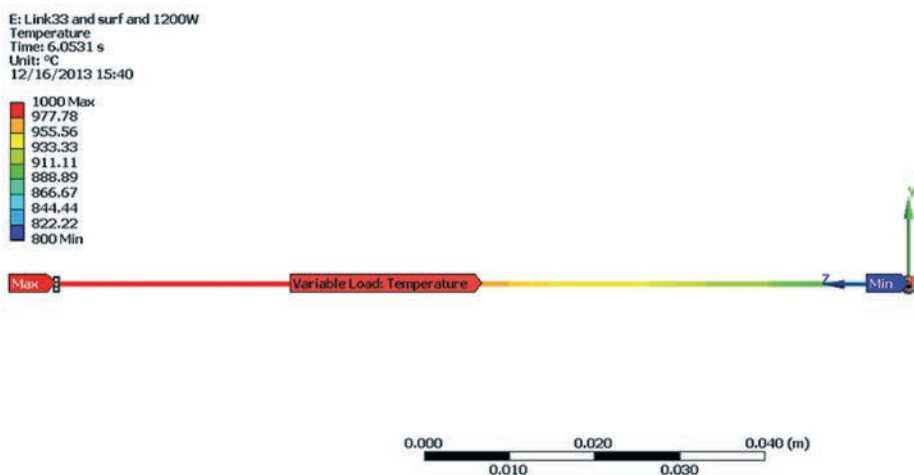
- Radiation: 20, °C, 0,33333
- Radiation 2: 20, °C, 0,33333
- Variable Load: Temperature
- Temperature 2: 1000, °C
- Temperature 2: 1000, °C
- Temperature 4: 800, °C
- Heat Flow: 0, W
- Thermal Point Mass



Граничные и начальные условия модели



Сетка конечных элементов модели



Начальная температурная нагрузка

- $m_A = 47,9\,16605 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 79,54 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$;
- $k_b = 1,380662 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$;
- $\sigma = 1,56 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-2}$.

Тогда рассчитанный по этой формуле коэффициент динамической вязкости титана

$$\mu = 2,843 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$$

Нагрев каждой элементарной ячейки происходит за время, равное времени перемещения электронного пучка над этой ячейкой. В нашей задаче нагрев эквивалентен приложению тепловой нагрузки треугольной формы:

$$t = 2d_p/V_s.$$

Исследование процесса ЕВМ проводилось для двух режимов обработки:

- ▶ ток пучка 15 мА, ускоряющее напряжение 60 кВ;
- ▶ ток пучка 20 мА, ускоряющее напряжение 60 кВ.

Важным расчётным параметром, показывающим энергетическое воздействие электронного пучка, является удель-

ная энергия J (Вт с/мм² или Дж/мм²), которая представляется выражением:

$$J = IU/(V_s d_p).$$

Граничные и начальные условия ММ представлены графически:

- ▶ области А и В (верхняя и нижняя поверхности изделия) – радиационное тепловое излучение на экран вакуумной камеры;
- ▶ область С – переменная начальная температура по глубине изделия;
- ▶ область D, E – начальная температура предварительного нагрева (1000°C);
- ▶ область F – начальная температура подложки;
- ▶ область G – тепловой поток, приложенный к элементарному объёму;
- ▶ область H – точечная тепловая масса, моделирующая подложку.

Охлаждение на границах изделия – окружающая среда задаётся через лучистый теплообмен (передача тепла посредством электромагнитных волн) по-

верхности подложки и стенок тепловых экранов. При расчёте теплообмена излучением необходимо учитывать потоки тепла в областях, попадающих на экраны, установленные в вакуумной камере установки. С поверхности подложки тепло теряется излучением по закону Стефана–Больцмана.

В верхней области формируемого изделия задаём граничные условия второго рода (условия Неймана), соответствующие заданию на границе распределённого теплового потока. Для уравнения теплопроводности в изотропной среде оно записывается в следующем виде:

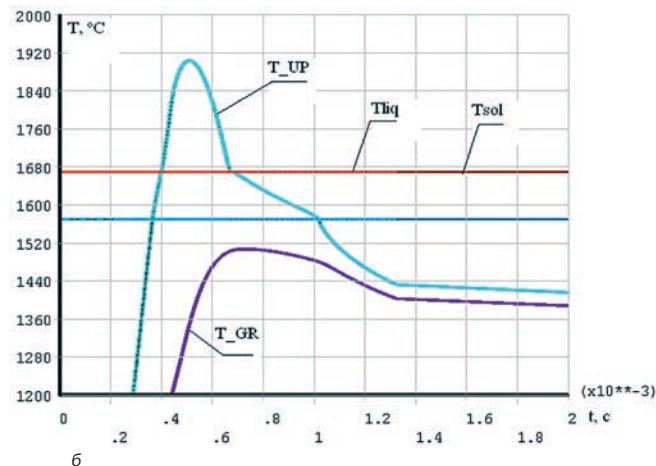
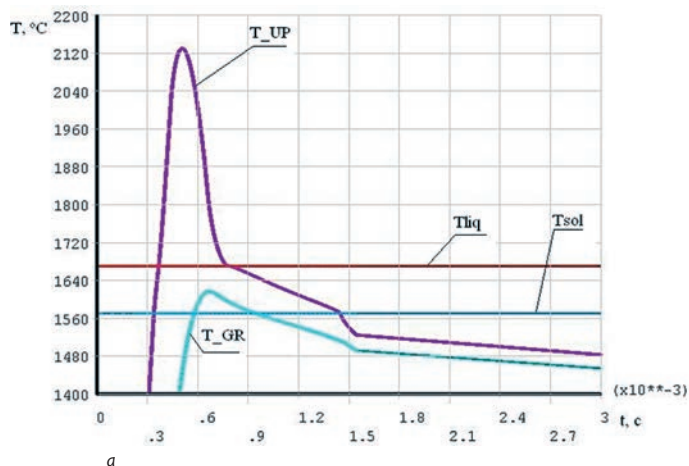
$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = q(t).$$

Начальные условия:

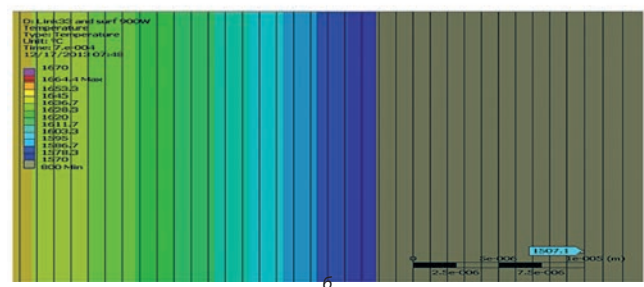
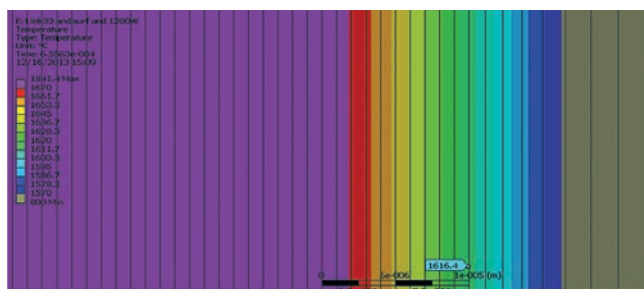
- 1) приведённая степень черноты излучательных потоков $\epsilon_{np} = 0,334$;
- 2) температура окружающей среды и тепловых экранов 20 °С;
- 3) распределение температуры в зависимости от координаты z: при $0 \leq z \leq 0,1 \text{ м}$ $T(z) = 800 + (z/0,1)^{0,3} \cdot 200$; при $0,1 < z < 0,10005 \text{ м}$ $T(z) = 1000$.

Начальная температурная нагрузка на подложку, как функция от координаты Z, представлена на рисунке.

Сетка конечных элементов модели имеет сгущение около поверхности нагрева. Размер конечного элемента составляет 1 мкм около верхней поверхности и 8,7 мм – в районе подложки. Такое различие в размерах элементов обусловлено минимизацией количества конечных элементов (что важно при решении нестационарных задач) и возможностью фиксации движения фазового перехода как по времени, так и в пространстве.



Изменение температуры на верхней и нижней границе слоя порошка от времени в результате первого воздействия пучка мощностью 1200 Вт (а) и 900 Вт (б)



Глубина фазового перехода после первого воздействия пучка мощностью 1200 Вт (а) и 900 Вт (б)

Типы конечных элементов, используемых в модели:

- ▶ LINK 33 – линейный элемент, моделирующий теплопроводность;
- ▶ SURF152 – поверхностный элемент (нагрузка в виде излучения).

Приблизительно нагрев элементарной ячейки происходит за время, равное времени прохождения пучка над этим объемом ($t = 4,42 \cdot 10^{-4}$ с).

На элементарный объем было выполнено несколько воздействий электронного пучка диаметром 1 мм. Динамика изменения температуры на поверхности порошка (обозначение – T_{UP}), на границе слоёв (обозначение – T_{GR}) в интервале времени первого воздействия электронного пучка мощностью соответственно 1200 Вт и 900 Вт представлена на рисунке (T_{sol} и T_{liq} – соответственно температуры кристаллизации и плавления). При фазовом переходе наблюдается уменьшение скорости изменения температуры.

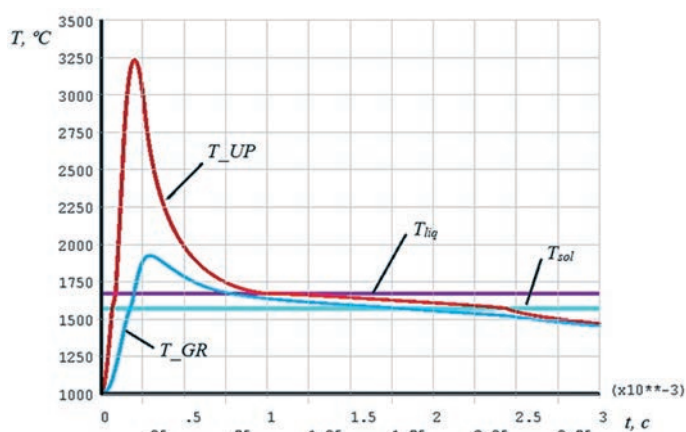
На графике наблюдается влияние скрытой теплоты плавления на процесс нагрева и охлаждения: на графике представлены участки изменения скорости нагрева и охлаждения материала. Причина этого явления – тот факт, что при нагреве скрытая теплота поглощается, при охлаждении она выделяется. При мощности пучка 1200 Вт скорость нагрева верхней поверхности слоя порошка в диапазоне температур от 1400°C до 2120°C равна

$3,6 \cdot 10^6$ °C/с, для нижней поверхности в диапазоне температур от 1400°C до 1600°C – 10^6 °C/с. При мощности пучка 900 Вт скорость нагрева верхней поверхности слоя порошка в диапазоне температур от 1200°C до 1900°C равна $3,5 \cdot 10^6$ °C/с, для нижней поверхности в диапазоне температур от 1200°C до 1500°C – $1,5 \cdot 10^6$ °C/с. Скорость охлаждения в диапазоне температур от ликвидус до солидус при мощности электронного пучка 1200 Вт для верхней границы слоя равна $1,4 \cdot 10^5$ °C/с, при мощности пучка 900 Вт – $3 \cdot 10^5$ °C/с.

Для исследования перемещения твёрдо-жидкой границы задаётся малый интегральный шаг по времени, например, 2 мкм.

На флажке указана температура поверхности соприкосновения (граница) порошка с подложкой. Особенности тепловых процессов связаны с эффектами накопления тепла и движения твёрдо-жидкой границы под воздействием периодических импульсов.

Исследования процесса сплавления показали, что только при мощности электронного пучка 1200 Вт гарантируется надёжное проплавление слоя порошка с подложкой. Математическая модель позволяет определить значения состав-



Изменение температуры на границах слоя порошка в результате первого воздействия пучка мощностью 900 Вт (диаметр пучка 0,6 мм)



Глубина фазового перехода после первого воздействия пучка диаметром 0,6 мм

ляющих вектора варьируемых параметров (ток пучка, диаметр пятна на мишени, скорость сканирования и др.), которые обеспечивают надёжное сплавление активного слоя порошка с предыдущим, формируют необходимую структуру изделия.

Рассмотрим результаты моделирования процесса при диаметре пучка $d_0 = 0,6$ мм. На элементарный объем промоделировано одно воздействие электронного пучка. Изменение температуры на поверхности порошка T_{UP} , на границе слоёв T_{GR} при воздействии электронного пучка мощностью 900 Вт представлено на графиках, где отражено влияние скрытой теплоты плавления на процессы нагрева и охлаждения.

Для исследования перемещения твёрдо-жидкой границы задаётся малый интегральный шаг по времени, равный 2 мкс. Глубина проплавления, зависящая от удельной мощности пучка, составляет от одного до двух слоёв.

В зависимости от теплофизических характеристик материала порошка и ре-

жима обработки поверхности порошка электронным пучком граница раздела твёрдо-жидкой фазы перемещается с различной скоростью.

Таким образом, предложен механизм для управления процессом ЕВМ, использующий в качестве исходных данных ток и скорость сканирования пучка, диаметр пятна на мишени, коэффициент полезного действия нагрева, шаг смещения, геометрические параметры подложки. Модель позволяет рассчитать скорость перемещения твёрдо-жидкой границы, глубину проплавления, скорости нагрева и охлаждения материала при воздействии электронного пучка различной мощности.

Растекание расплавленного материала

Энергия электронного пучка позволяет добиться высокой скорости плавления слоя и малого времени кристаллизации расплавленного металла. Для прогнозирования точности и шероховатости поверхностей изделия необходимо исследовать процесс растекания расплавленного металла со свободной верхней границей с учётом гравитационных, капиллярных и термокапиллярных сил.

При воздействии электронного пуч-

ка температура в центре ванны самая высокая, что соответствует наименьшему значению коэффициента поверхностного натяжения. В образовавшейся ванне происходит движение металла.

Монотонное увеличение коэффициента поверхностного натяжения от центра к периферии ванны – причина искривления поверхности, что приводит к шероховатости. Процесс растекания металла сопровождается появлением поверхностных волн движущихся от центра ванны к краю ячейки расплава. Под действием сил поверхностного натяжения расплавленный материал начинает перемещаться и заполнять поры.

Расчет гидродинамических параметров процесса ЕВМ предъявляет высокие требования к используемым средствам численного моделирования. В качестве инструмента моделирования был выбран программный комплекс ANSYS APDL, пространственный режим 2D, расчёт динамический.

В основу решения задачи в рамках ANSYS APDL положен алгоритм, суть которого заключается в раздельном решении для каждой степени свободы системы матриц, полученных конечно элементной дискретизацией основного уравнения.

Задача течения жидкости нелинейная. Исследование изменения формы порошка проводится в области «периодической» симметрии. Дополнительно к рассмотренным ранее параметрам добавляются динамическая вязкость и коэффициент поверхностного натяжения.

Рассмотрим одинарный слой титанового порошка. Считаем, что частицы порошка имеют шаровидную форму.

При моделировании используется элемент FLUID141 программного пакета ANSYS FLOTRAN, описывающий жидкие и твердые области нестационарных тепловых систем. Элемент FLUID141 используется при исследовании взаимодействия жидкий порошок – твёрдая подложка.

Для элементов FLOTRAN ANSYS скорости определяются в соответствии с законом сохранения импульса, температура – в соответствии с законом сохранения энергии.

Анализ взаимодействия жидкость–твердое тело задаётся командами SF, SFA, SFE, SFL или MBC и поверхностным граничным условием FSIN. Необходимо задать один и тот же номер границы раздела жидкости и твердого тела, контактирующих друг с другом.

Граничные и начальные условия модели:

- ▶ на боковых линиях скорость перемещения формы V_x по оси X равна нулю;
- ▶ на нижней линии модели, проходящей на глубине 12,5 мкм предыдущего слоя, скорости V_x и V_y соответственно по осям X и Y равны нулю.

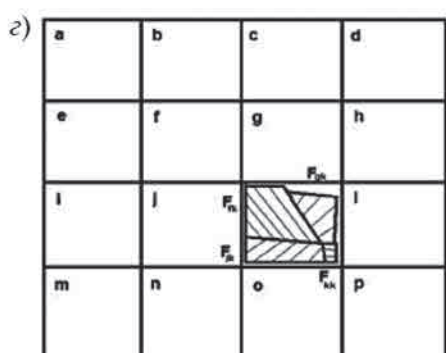
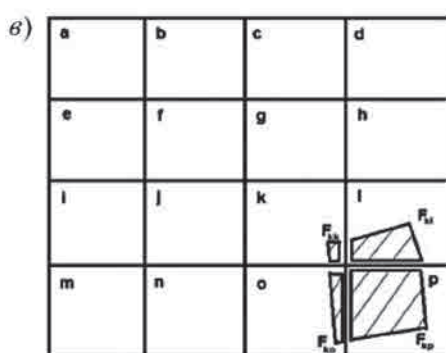
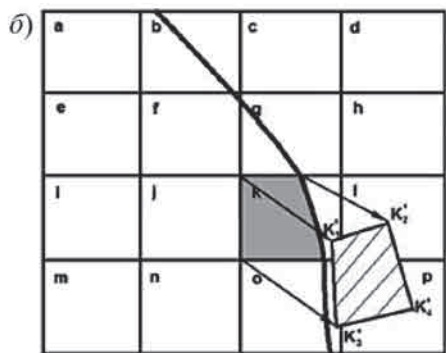
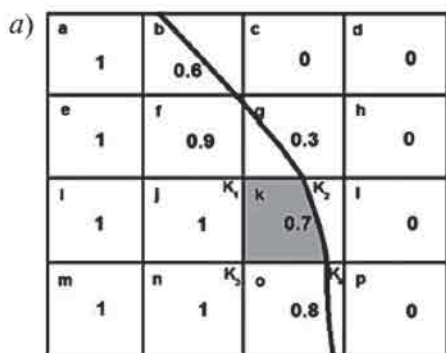
При моделировании процесса движения металла на верхней свободной поверхности расплавленного слоя F, характеризующей остаточными парциальными давлениями газов, используется метод объема жидкости VOF, в котором определение формы и местоположения свободной поверхности основано на понятии фракционного объема жидкости.

Движение свободной поверхности, вычисляемой через алгоритм VOF, имеет следующий вид:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \bar{v} \cdot \nabla F = 0,$$

где F – часть объема (или VFRC).

Алгоритм основан на новом подходе к вычислению потоков жидкого металла



Процесс перемещения объёма жидкости из базового элемента k в соседние в различные моменты времени

(потоки VFRC): из базового элемента к каждому из его непосредственных соседних элементов. Идея вычисления потоков VFRC состоит в том, чтобы переместить жидкую часть элемента в лагранжевом смысле и вычислить объём жидкости оставшийся в базовом элементе и перемещённый в соседние элементы.

Процесс перемещения объёма жидкости из базового элемента k в соседние показан на рисунке (16 элементов $a-p$). Значение коэффициента заполнения каждого элемента жидкостью показано в центре каждого элемента.

В VOF-анализе каждый элемент может быть идентифицирован как полный, частично полный, или пустой. Полные элементы представляют жидкость, пустые элементы – пустоту, частичные элементы – области перехода между жидкостью и пустотой. В рассматриваемом алгоритме решения уравнения конечного элемента собраны только для частичных и полных элементов, потому что пустые элементы не имеют влияния на движение жидкости. Если элемент полон, многоугольник жидкости совпадает с элементом, коэффициент заполнения равен единице. Если элемент не пустой, он используется для перехода жидкости в соседние элементы.

Отдельно рассмотрим элемент k . Выделим первоначальный объём жидкости в элементе k , четырёхугольник $K_1K_2K_3K_4$, каждая вершина которого подвергается смещению (ξ, η) . Тогда скоростные компоненты вершин многоугольника (V_x, V_y) :

$$V_x = \frac{d\xi}{dt}, \quad V_y = \frac{d\eta}{dt}.$$

После того как скоростная область получена через нормальную процедуру решения FLOTTRAN, можно вычислить лагранжевые смещения:

$$\xi = \int_t^{t+\delta t} V_x dt, \quad \eta = \int_t^{t+\delta t} V_y dt.$$

Затем для каждой вершины получаем новое местоположение многоугольника в текущий момент времени. В новом многоугольнике часть жидкости будет оставаться в базовом элементе (F_{kk}), три другие части перетекут в соседние элементы F_{ld} , F_{kp} и F_{ko} .

Точный расчёт количества жидких частей объёма, принадлежащих каждо-

му элементу, осуществляется на основе алгоритма пересечения многоугольника, базового элемента, его непосредственных соседних элементов в соответствии с вычислительной геометрией.

Из конечных элементов используются выпуклые четырёхугольные 2D-элементы. Предположение о выпуклости многоугольников создаёт особенные поколения сетки для четырёхугольных 2D-элементов. Многоугольники жидкости сохраняют выпуклую форму благодаря автоматической процедуре отбора временного шага.

Алгоритм позволяет вычислить объём жидкости, сохранившийся в базовом элементе и перемещённый в соседние элементы. Далее сравнивается объём жидкости в первоначальном многоугольнике и сумма всех VFRC-потоков, вытекающих из базового элемента. Систематическая ошибка появится, если шаг команды будет слишком большим по времени или непосредственные соседи базового элемента не охватят все элементы, затронутые многоугольником. Тогда многоугольник начнёт терять выпуклость. В этом случае время приращения VOF будет автоматически уменьшено наполовину. Автоматическое сокращение продолжится до тех пор, пока сохраняется локальный баланс объёма.

Новый объём жидкости в каждом базовом элементе может быть получен суммой всех потоков VFRC, происходящих из себя (F_{kd} , F_{kp} , F_{ko} , F_{kk}) и входящих соседних элементов (F_{gk} , F_{fk} и F_{jk}).

Чтобы продолжить VOF-процедуру в следующем временном шаге и восстановить новый многоугольник жидкости в каждом непустом элементе, необходима новая часть объёма базового элемента.

Для интерфейсной области принята следующая процедура:

- ▶ сохранение местного распределения обновленной области части объёма и геометрии интерфейсной линии;
- ▶ вычисление нормального вектора \vec{n} к интерфейсной линии в базовом элементе (вектор градиента единицы области части объёма в ее области);
- ▶ решение уравнения линии в домашнем элементе

$$g(x) = nx + c = 0.$$

Значение постоянной c можно получить, решая дополнительное уравнение, которое налагает сохранение жидкого объёма в базовом элементе. Идея состоит в том, что объём многоугольника жидкости, разграниченной в базовом элементе линией границы, должен соответствовать известному критерию VFRC. Решение этого уравнения может быть получено многократно в интервале $[c_{\min}, c_{\max}]$. Рассчитываются пределы, позволяющие линии границы пройти через каждую из базовых вершин элемента. Таким образом вычисляется часть объёма и изолируются крайние варианты $F = 0$ и $F = 1$.

Когда параметр c вычислен и определена часть объёма в базовом элементе, строится многоугольник жидкости, разграниченный линией уравнения в базовом элементе.

Чтобы вычислить единицу нормального вектора, в рассматриваемом алгоритме был выбран метод градиента наименьших квадратов:

$$n = \frac{\nabla f}{|\nabla f|}.$$

В методе VOF граничные условия требуются для граничных узлов, которые принадлежат, по крайней мере, одному непустому элементу. Для граничных узлов, принадлежащих только пустым элементам, с другой стороны, предписанные граничные условия останутся бездействующими, пока узлы не будут затронуты жидкостью. Граничные условия также применены к узлам, которые принадлежат по крайней мере одному пустому элементу и одному непустому элементу. Эти узлы представляют собой область перехода между жидкостью и пустотой. Такую свободную поверхность рассматривают как естественные граничные условия для всех степеней свободы, кроме давления.

Чтобы наложить надлежащие граничные условия на основанную на элементе часть объёма (VFRC), воображаемые элементы создаются вдоль внешней границы с целью действовать как соседи элементов, формирующих границу. Два типа граничных условий применены на эти воображаемые элементы. В зависимости от наложенной ценности части объёма воображаемые элементы могут быть определены или как полные, или как пустые.

Частичные воображаемые элементы

не позволены на границах. Для увлажнения границы воображаемые элементы должны быть полными (жидкость перемещается в соседние элементы). Для неувлажненной границы жидкость или пустота не могут перемещаться.

Последовательность операций VOF:

- 1) вычисление нового местоположения вершин многоугольника в лагранжевом шаге смещения;
- 2) установление распределения жидкого объема в близкой области с использованием алгоритма пересечения многоугольников;
- 3) обновление части объема в новом временном шаге.

Чтобы оценить суммарный объем, текущий в базовый элемент, на последнем шаге потоки VFRC перегруппированы. Объем жидкости в многоугольнике должен быть равным сумме всех потоков VFRC, происходящих из этого многоугольника. Такое сохранение жидкого объема будет нарушено только в двух ситуациях:

- ▶ большая деформация многоугольника во время лагранжевого шага, когда теряется выпуклость многоугольника;
- ▶ большой шаг по времени, вследствие чего некоторые потоки VFRC будут протекать в его далеких соседях и не будут приняты во внимание существующим алгоритмом.

В любом случае, чтобы уменьшить деформацию и расстояние перемещения многоугольника, приращение времени в лагранжевом шаге будет уменьшено наполовину. Автоматическое сокращение приращения времени продолжится, пока местный баланс жидкого объема не сохранится.

Команда FLDATA4 определяет количество шагов VOF с перемещением жидкости. В методе VOF поверхностное натяжение моделируется двумя составляющими поверхностной силы:

- ▶ нормальной к границе вследствие местного искривления,
- ▶ тангенциальной к границе из-за местных изменений коэффициента поверхностного натяжения (команда FLDATA13).

Поверхностное натяжение – сила на единичную область:

$$\mathbf{f}_s = \sigma \mathbf{k}n + \nabla \sigma,$$

где \mathbf{f}_s – поверхностная сила, k – поверхностное искривление, \bar{n} – нормальный вектор.

Поверхностное искривление, единичный нормальный вектор и поверхностный градиент соответственно определяются как:

$$K = -\nabla \cdot \hat{\mathbf{n}} = \frac{1}{|\mathbf{n}|} \left[\left(\frac{\mathbf{n}}{\mathbf{n}} \cdot \nabla \right) |\mathbf{n}| - (\nabla \mathbf{n}) \right],$$

$$\hat{\mathbf{n}} = \frac{\mathbf{n}}{|\mathbf{n}|} = \frac{\nabla F}{|\nabla F|},$$

$$\nabla_i = \hat{\mathbf{t}}(\hat{\mathbf{t}} \cdot \nabla).$$

Здесь $\hat{\mathbf{t}}$ – вектор тангенса единицы в поверхности.

Первоначально сила поверхностного натяжения действует нормально к границе и направлена к центру местного ис-

кривления границы. Затем сила действует тангенциально к границе и направлена к области более высокого коэффициента поверхностного натяжения.

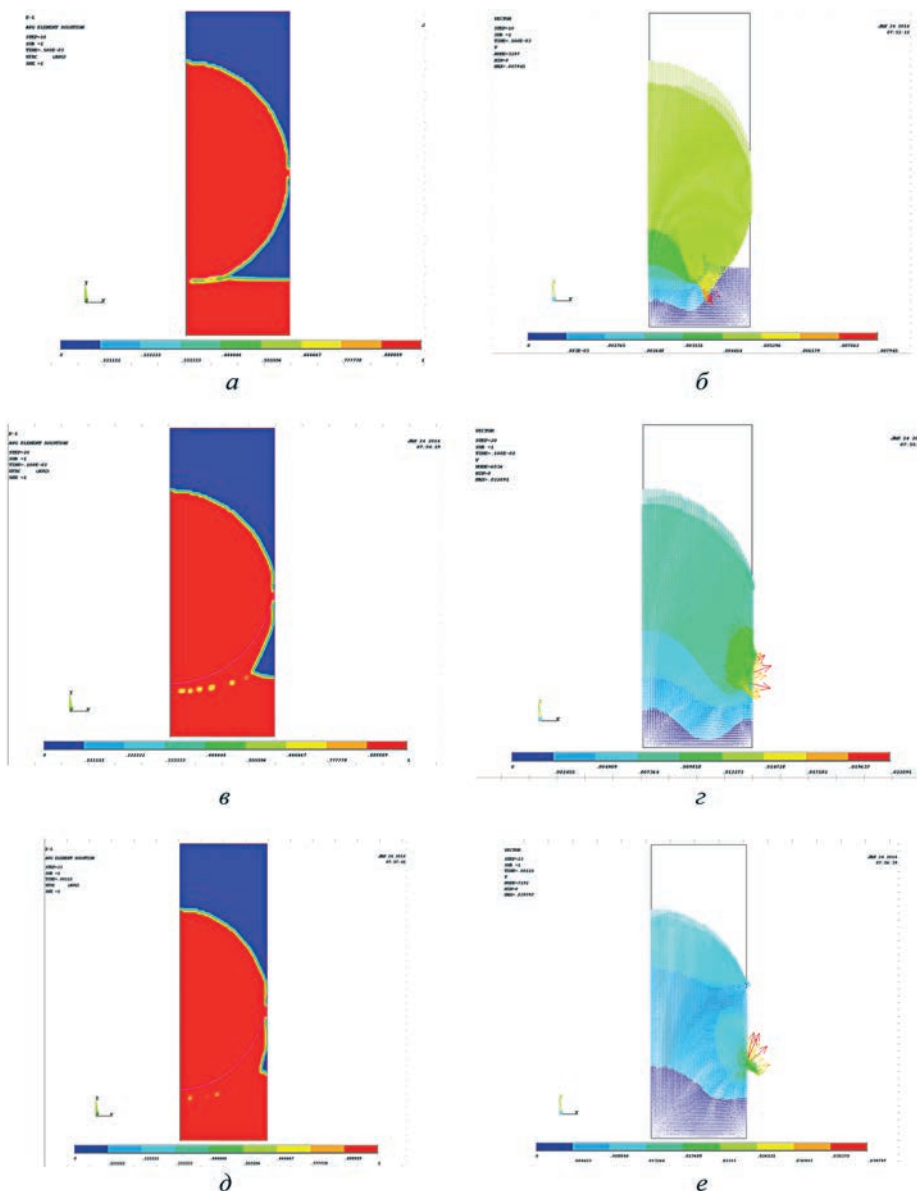
В методе CSF поверхностная сила повторно сформулирована в объемную силу:

$$\mathbf{F}_s = \mathbf{f}_s \delta_s \frac{F}{\langle F \rangle},$$

где $\langle F \rangle$ – усредненная часть объема через границу, δ_s – поверхностная функция дельты:

$$\delta_s = |\mathbf{n}| = |\nabla F|.$$

Растекание титанового порошка в различные моменты времени показано на рисунке. Показано не только изменение формы порошка, но и вектор скоростей частиц порошка. Заполнение пор между



Характеристики шероховатости поверхности образца из титанового сплава ВТ6

| Направление измерения | Высота неровностей, мкм | |
|-----------------------|-------------------------|-----------|
| | Rz | Ra |
| продольное | 28,4±3,9 | 7,1±0,38 |
| поперечное | 18,5±4,1 | 4,05±0,35 |

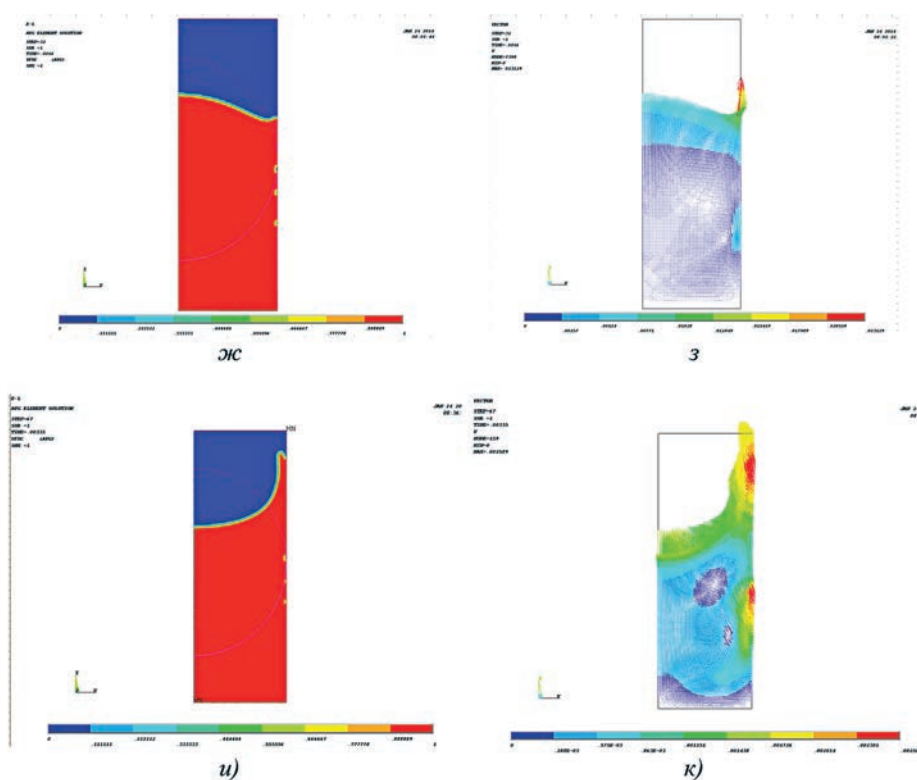
опытных образцов из порошка титанового сплава ВТ6 по технологии ЕВМ. Параметры технологического режима: ток пучка – 20 мА, ток фокусировки – 3 мА, ускоряющее напряжение – 60 кВ, давление в рабочей камере – $1,3 \cdot 10^{-3}$ Па.

Шероховатость поверхности образцов зависит от различных факторов, в частности от размера используемого порошка, режимов обработки и др. По направлению движения электронного пучка характер профиля более сглаженный и характеристики шероховатости ниже по сравнению с поперечным направлением.

Следует отметить совпадение волнистого характера поверхности полученного образца с результатами математического моделирования. Высота неровностей в продольном направлении – $Rz = 28,4 \pm 3,9$ мкм, в поперечном направлении – $Rz = 18,5 \pm 4,1$ мкм.

Таким образом, математическая модель позволяет рассчитать параметры процесса ЕВМ. Численное моделирование процесса формирования слоя включает в себя исследование растекания металла со свободной верхней границей с учётом гравитационных и капиллярных сил.

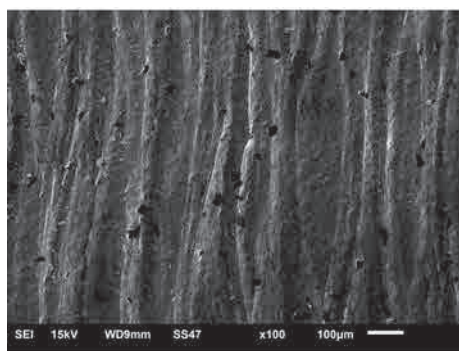
Декомпозиция процесса ЕВМ позволяет построить семейство математических моделей и выбрать эффективные методы их реализации. В результате формируется совокупность малых моделей, позволяющих рассчитать технологический режим и значения неизменяемых параметров. Математическая модель процесса ЕВМ позволяет исследовать растекание жидкого металла; оценить погрешность обработки, усадку слоя, вероятность возникновения пор; рассчитывать скорости нагрева и охлаждения слоя порошка, температурное поле изделия и подложки, глубину проплавления, скорость перемещения твёрдожидкой границы. Таким образом, математическое моделирование позволяет прогнозировать структуру и свойства изделия.



Изменение формы частицы и вектора скоростей в момент времени 0,0005 с (а, б), 0,001 с (в, з), 0,00115 с (д, е), 0,0016 с (ж, з), 0,00335 с (и, к)

Изменение скорости перемещения жидкого металла в различные моменты времени

| t, с | 0,0005 | 0,001 | 0,00115 | 0,0016 | 0,00335 |
|-----------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| v, м/с, не более (синий цвет) | $2,648 \cdot 10^{-3}$ | $7,364 \cdot 10^{-3}$ | $14,266 \cdot 10^{-3}$ | $7,71 \cdot 10^{-3}$ | $0,86 \cdot 10^{-3}$ |
| v, м/с, не более (зелёный цвет) | $4,414 \cdot 10^{-3}$ | $12,273 \cdot 10^{-3}$ | $22,11 \cdot 10^{-3}$ | $12,849 \cdot 10^{-3}$ | $1,438 \cdot 10^{-3}$ |
| v, м/с, не более (жёлтый цвет) | $6,179 \cdot 10^{-3}$ | $17,182 \cdot 10^{-3}$ | $30,953 \cdot 10^{-3}$ | $17,989 \cdot 10^{-3}$ | $2,014 \cdot 10^{-3}$ |
| v, м/с, не более (оранжевый цвет) | $7,062 \cdot 10^{-3}$ | $19,637 \cdot 10^{-3}$ | $35,375 \cdot 10^{-3}$ | $20,559 \cdot 10^{-3}$ | $2,301 \cdot 10^{-3}$ |
| v, м/с, не более (красный цвет) | $7,945 \cdot 10^{-3}$ | $22,091 \cdot 10^{-3}$ | $39,797 \cdot 10^{-3}$ | $24,129 \cdot 10^{-3}$ | $2,589 \cdot 10^{-3}$ |



Фронтальная поверхность образца, полученного по технологии ЕВМ

частицами происходит на этапе затвердевания металла и приводит к формированию заданной структуры.

Максимальная скорость растекания

металла приходится на момент времени $t = 0,00115$ с. Далее скорость плавно уменьшается до нуля в области полного заполнения пор. Отсутствие пор позволяет сделать вывод о том, что для данного технологического режима время растекания жидкого металла меньше времени кристаллизации. В начальный момент времени диаметр частицы составляет 50 мкм. Вследствие воздействия электронного пучка происходит плавление и растекание материала частицы. Формируется поверхность волнистой геометрической формы. После кристаллизации высота неровностей составляет 20-25 мкм.

Для проверки математической модели на адекватность был проведён синтез

ГАРИБОВ Г.С., д.т.н., зам. генерального директора ОАО «ВИЛС»
 ЯГОДИН М.Г., аспирант ОАО «ВИЛС»
 СТАРОВОЙТЕНКО Е.И., ведущий научный сотрудник ОАО «ВИЛС»

РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ПОРОШКОВ-ГРАНУЛ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ PREP

с учетом динамического давления плазменной струи

Аналитический расчет заданного размера порошков-гранул при их производстве является очень важным.

Процесс плазменной плавки и центробежного распыления быстровращающейся заготовки состоит из следующих стадий: плавления торца вращающейся заготовки, формирования жидкой пленки на торце вращающейся заготовки, распада пленки расплава на отдельные капли, охлаждения капель в полете в среде инертного газа и их кристаллизации с образованием твердых частиц (гранул). Размер гранулы зависит, в первую очередь, от факторов первых двух стадий процесса. Рассмотрим влияние различных параметров плазменной плавки и центробежного распыления на размер гранулы.

При плавлении торца быстровращающейся заготовки плазмой в кратере распыления образуется расплавленный металл, который жидкой пленкой (толщина 20-50 мкм) движется к краям торца заготовки. Достигнув края заготовки, пленка расплава образует тороидальный жгут, выходящий за пределы диаметра заготовки. От жгута под действием центробежных сил отрывается капля жидкого металла, которая кристаллизуется в

гранулу в инертной атмосфере. Диаметр капли зависит от диаметра жгута, образовавшегося на периферии заготовки. Представляет интерес определение диаметра капли во время отрыва от тороидального жгута.

На образование и отрыв капли от тороидального жгута расплава оказывают

влияние центробежная сила и сила поверхностного натяжения. Баланс сил при образовании торообразного жгута на периферии заготовки:

$$F_n + F_\sigma = 0$$

– центробежная сила:

$$F_\sigma = m \cdot \omega^2 \cdot D/2;$$

Силу поверхностного натяжения определяем из выражения:

$$F_n = 2 \cdot \pi \cdot \sigma \cdot D,$$

где m – масса жгута, г;

ω – частота вращения заготовки, с⁻¹;

D – диаметр литой заготовки, м.

σ – поверхностное натяжение расплава, Н·м⁻¹;

Массу жгута определяем из условия равенства сил:

$$m = \frac{4\pi\sigma}{\omega^2}.$$

В свою очередь, массу жгута можно выразить через диаметр жгута:

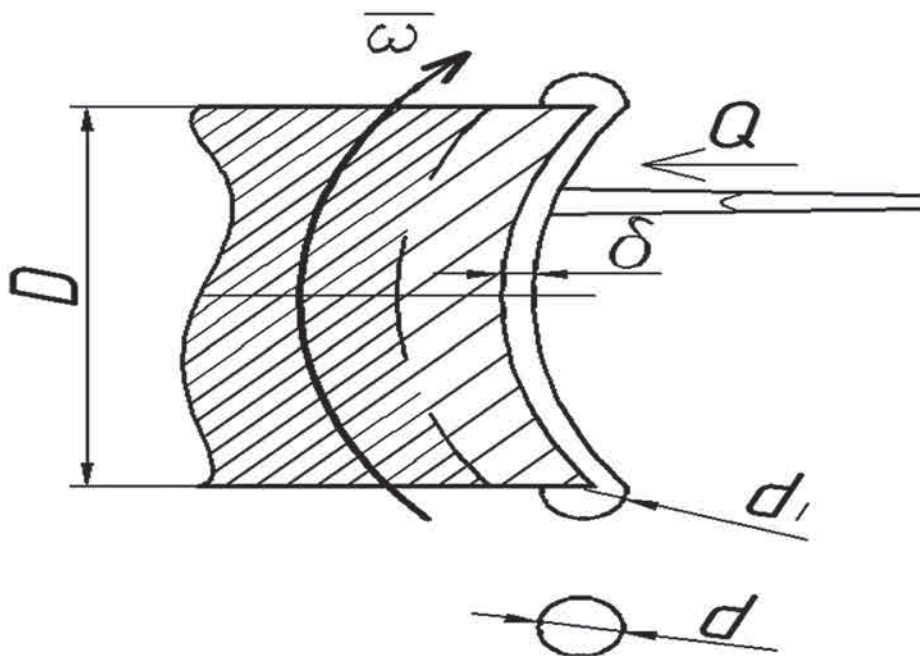
$$m = \frac{\pi}{4} d_1^2 \pi D \rho$$

где d_1 – диаметр жгута, м;

ρ – плотность расплава, кг·м⁻³.

Получаем формулу для диаметра жгута, приводя уравнение выше к следующему виду:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4m}{\pi^2 D \rho}}.$$



Плавление торца быстровращающейся заготовки,

где D – диаметр литой заготовки, м; Q – поток теплоты, Дж;

d_1 – диаметр жгута, м; d – диаметр частицы, м; ω – угловая частота вращения, об·мин⁻¹;

δ – толщина пленки расплава, м.

Выразив массу жгута через условие баланса сил, получим следующее выражение для диаметра жгута:

$$d_1 = \sqrt{\frac{16\sigma}{\omega^2 \pi D \rho}} = 2 \sqrt{\frac{2\sigma}{\pi \rho R \omega^2}}$$

Высокие показатели качества гранул, полученных плазменным центробежным распылением, заставляют, тем не менее, идти на высокие частоты вращения заготовки, чтобы получить наиболее востребованные, например, в аддитивных технологиях и в авиационном двигателестроении, мелкодисперсные гранулы крупностью до – 40-50 мкм.

Имеется возможность решить проблему снижения уровня требуемых частот вращения заготовки, не отступая от существа PREP-технологии.

Для этого требуется ввести в механизм дробления пленки расплава на торце вращающейся заготовки дополнительный к центробежной силе фактор, не связанный непосредственно с вращением. Таким фактором может выступить, например, динамическое давление потока плазменной струи на расплав на кромке торца заготовки, так как потоки плазмы увлекают за собой окружающий газ и поэтому всегда сопровождаются газовыми потоками. Эти газовые потоки плазмы оказывают давление на торец заготовки и тогда уравнение баланса сил примет следующий вид:

$$F_n + F_{ц} + F_{дп} = 0.$$

Рассмотрим силу динамического воздействия газа плазмы, которая зависит от скорости плазменной струи в зазоре между заготовкой и плазматроном.

$$V = \frac{\xi_{пл}}{\pi D \Delta},$$

где $\xi_{пл}$ – объемный расход плазменного потока, м³/с;

D – диаметр литой заготовки, м;

Δ – длина промежутка (зазора) от торца заготовки до плазмотрона, м.

Объемный расход плазменного потока можно определить с помощью расхода газа при подаче в плазматрон:

$$\xi_{пл} = \xi_0 \frac{T_{пл}}{T_0},$$

где ξ_0 – расход газа при подаче в плазматрон при температуре 20°C;

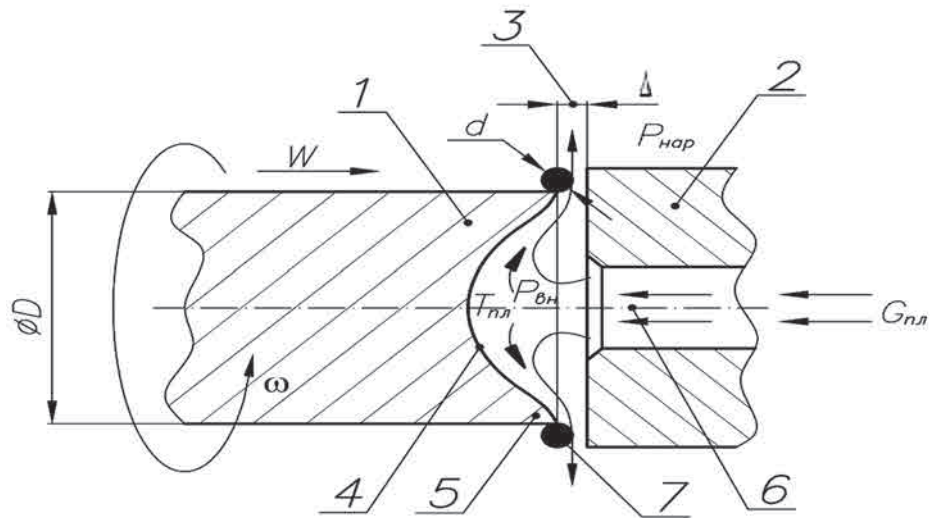


Схема реализации комбинированного процесса распыления:

- где 1 – литая заготовка;
2 – плазматрон;
3 – длина промежутка от торца заготовки до плазмотрона;
4 – пленка расплава;
5 – кромка литой заготовки;
6 – плазменный канал;
7 – частица (гранула).

$T_{пл}$ – температура плазменной струи (5000°C);

T_0 – температура подачи газа в плазматрон (20°C).

Скорость плазменной струи в зазоре будет равна:

$$V = \frac{\xi_{пл}}{\pi D \Delta},$$

Плотность потока плазмы можно определить при помощи следующей формулы:

$$\rho_r = \rho_0 \frac{T_0}{T_{пл}},$$

динамическое давление будет равно:

$$P = \frac{\rho_r V^2}{2g},$$

где $F_{дп}$ – сила динамического воздействия газа плазмы, Н,

$$F_{дп} = \eta \cdot V^2 \cdot \Delta \cdot \vartheta;$$

η – плотность газа плазменного потока, набегающего на жгут расплава на торце заготовки, кг·м⁻³;

V – скорость газа плазменного потока, набегающего на жгут расплава на торце заготовки, м·с⁻¹;

Δ – длина промежутка от торца заготовки до плазмотрона, м;

ϑ – доля этого промежутка, где скоростной поток плазмы непосредственно взаимодействует со жгутом расплава.

Соотношение для определения размера частиц в результате введения в него

определяющих параметров и преобразований примет следующий вид:

$$d = 2x \sqrt{\frac{2\sigma}{\pi R \rho \omega^2} - \frac{\eta V^2 \Delta \vartheta}{2\pi R \rho \omega^2}}$$

Левая часть подкоренного выражения здесь аналогична комплексу в уравнении, приведенном в начале этой страницы, устанавливающем диаметр частиц в поле взаимодействия только силы поверхностного натяжения и центробежной силы, а правая часть определяет дополнительный вклад динамики плазменного потока в формирование частицы, понижая результирующее значение d при фиксированной частоте вращения ω .

Схема реализации (комбинированного) процесса распыления, включающего в себя закономерности метода PREP и динамическое воздействие газа плазмы (комбинированного процесса), представлена на рисунке. Она принципиально не отличается от схемы PREP процесса.

Заготовку приводят во вращение с частотой ω . К ее торцу на небольшое (2-5мм) расстояние Δ приближают плазматрон, генерирующий поток плазмы с расходом $G_{пл}$, который по плазменному каналу направляют на торец заготовки. Пленка расплава, перемещается под действием центробежной силы к кромке литой заготовки с образованием здесь

торообразного жгута. Поток плазмы, с высокой скоростью V , участвует в дроблении жгута и формировании частиц диаметром d . Убыль металла с отлетающими частицами компенсируется непрерывной подачей заготовки в зону плавления со скоростью W так, чтобы промежуток Δ между плазматроном и заготовкой оставался неизменным.

При реализации данной схемы могут возникнуть отдельные технические трудности, а именно:

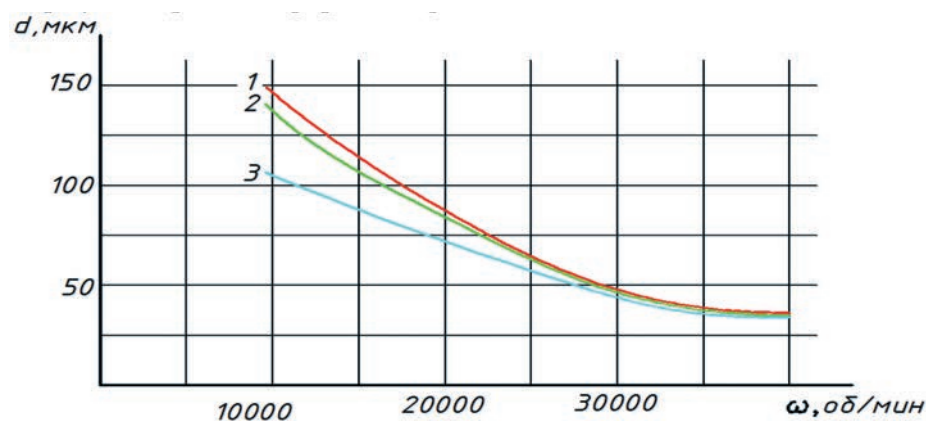
- ▶ поддержание небольшой величины промежутка S с приемлемой точностью при том, что заготовка непрерывно движется со скоростью W . Решение данной проблемы видится в двух возможных вариантах. Это визуальный контроль промежутка z на слайде посредством, например, системы технического зрения, либо контроль на нем перепада статических давлений в зазоре ($P_{вн.} - P_{нар.}$) в потоке плазмы, с действием пропорционального сигнала на скорость движения заготовки W ;
- ▶ поддержание повышенного расхода плазмы $G_{пл}$, который всегда ограничен условиями эксплуатации плазматрона, т. к. его превышение, в сравнении с предельно допустимой величиной для данной конструкции плазматрона, вызовет срыв дуги между электродами плазматрона.

В связи с этим требованием, уместно подчеркнуть то обстоятельство, что коаксиальные электродуговые плазматроны, применяемые сейчас в установках распыления типа УЦР, например, типа ПСМ-100, малопригодны для реализации данного комбинированного способа распыления. В силу особенности их конструкции (очень небольшое сечение дугового канала кольцевой конфигурации) поток плазмы, поступающий в зазор S , весьма мал, он не сможет обеспечить высокой скорости потока плазмы и создать заметное динамическое давление на жгут расплава.

С применением плазматронов другого типа, например, камерного, модели ЭДПМ-150, разработанного Институтом Теплофизики Сибирского Отделения РАН им. С. С. Кутателадзе, поток плазмы существенно выше, чем в коаксиаль-

Таблица № 1
Расчетные данные по диаметру частиц « d » (мкм) гранул никелевого сплава при комбинированном способе их получения.

| № п/п | Зазор « Δ », (мм) | Частота вращения ω , (об/мин) | | | |
|-------|--------------------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|
| | | 10000 | 20000 | 30000 | 40000 |
| 1 | 25 | 146,8 | 74,4 | 49,0 | 37,23 |
| 2 | 5 | 138,2 | 71,4 | 48,0 | 36,15 |
| 3 | 2,5 | 108 | 64,4 | 45,0 | 34,5 |



Зависимость размера частиц гранул « d » жаропрочного никелевого сплава от частоты вращения « ω » заготовки и характерного размера плазменного потока « Δ ».

где 1 – при $\Delta = 25$ мм;
2 – при $\Delta = 5$ мм;
3 – при $\Delta = 2,5$ мм.

ном, можно ожидать положительного эффекта снижения размера частиц от динамического воздействия плазменного потока. Дополнительное преимущество плазматрона типа ЭДПМ-150 перед, например, плазматроном ПСМ-100, повсеместно применяемым сейчас в установках типа УЦР, заключается в существенно меньшей величине рабочего тока (до 500А против 1500-1600А для ПСМ-100). Это резко снижает эрозионный износ электродов, повышает практически на порядок ресурс плазматрона и резко снижает опасность вовлечения в гранулы медьсодержащих частиц эрозии сопла. Последнее обстоятельство чрезвычайно важно для гранул на никелевой основе, для которых присутствие меди резко снижает прочностные свойства и МЦУ материала, формируемого из таких гранул.

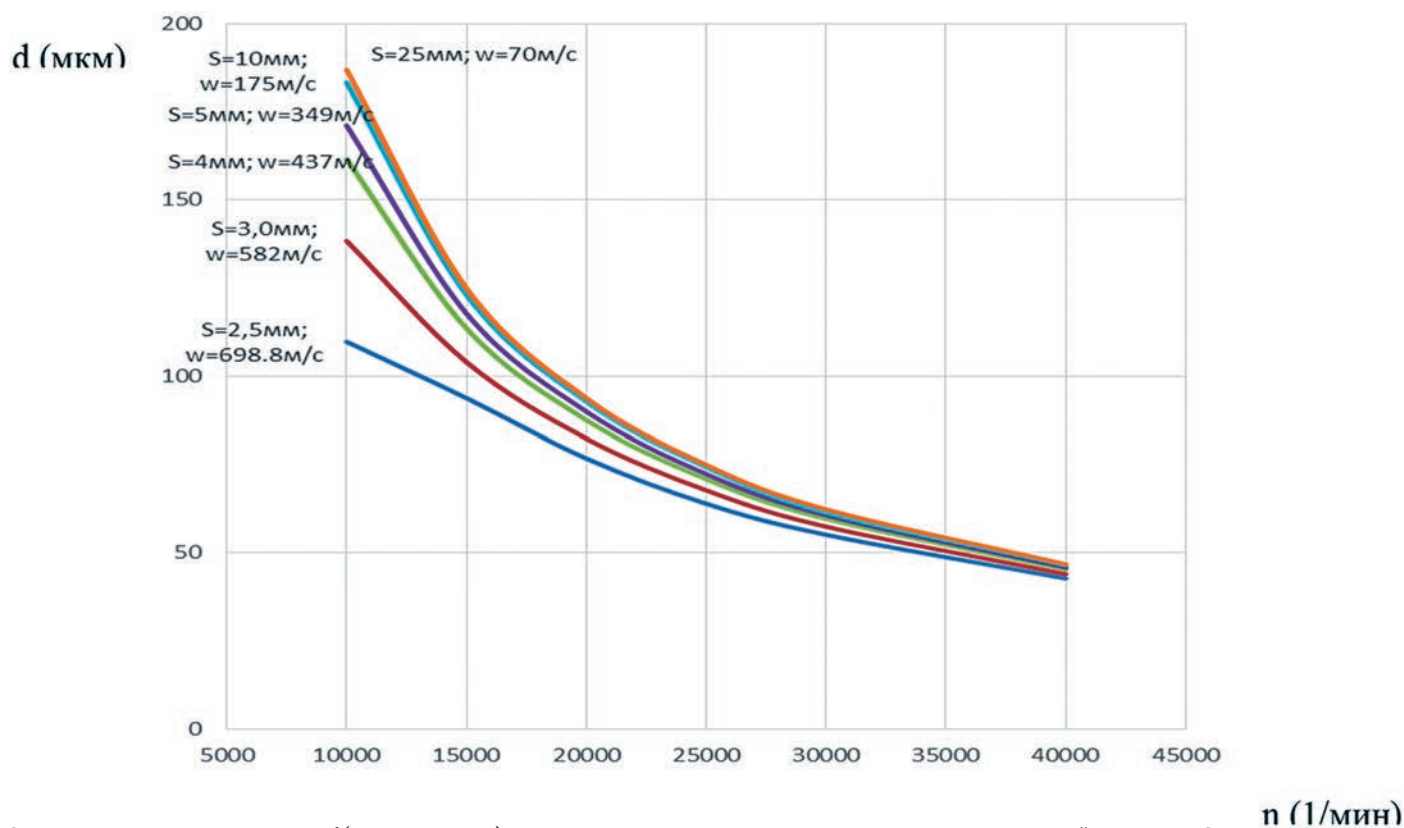
В таблице №1 приведены данные расчета размера частиц гранул при распылении заготовки диаметром $2R = 80$ мм из жаропрочного никелевого сплава ВВ751П с физическими характеристиками

при температуре плавления, а именно: плотность $\rho = 8800$ кг/м³, коэффициент поверхностного натяжения $\sigma = 1,735$ Н/м. Данные по температурным характеристикам потока плазмы здесь составляют 5000 К.

На рисунке приведены графики, построенные по данным таблицы №1.

Значения d в правой колонке таблицы 1, вычисленные при умеренной скорости потока плазмы $V = 70$ м/с, совпадают с размером частиц при условиях распыления по PREP-технологии, вычисленными ранее, указывая на незначительную роль динамики потока плазмы при такой его скорости.

Данные расчетов, которые носят приближенный характер, тем не менее, показывают главный итог, а именно – включение в механизм распыления фактора динамического воздействия потока плазмы, приводит к весьма заметному позитивному результату. Требуемая частота вращения заготовки, при этом может быть существенно снижена по отношению к варианту рас-



пыления за счет только центробежных сил. Так, например, фракции порошка Ti сплава с размером частиц порядка 100 мкм. можно получать комбинированным способом уже при частотах вращения порядка 12500 1/мин., тогда как при распылении заготовки только за счет центробежной силы по методу PREP получение фракций такой крупности можно ожидать при частотах вращения не ниже 20 000 1/мин.

С ростом частоты вращения заготовки n вклад динамической составляющей снижается, но даже здесь, например, для выхода на фракции порядка 50 мкм частота вращения потребует на 5000-7000 1/мин меньше, чем при работе по классической технологии PREP.

Здесь влияние динамического фактора плазмы ниже из-за высокой плотности, которая влияет на значение центробежной силы, выступающей основным силовым фактором дробления пленки расплава на частицы при центробежном способе распыления.

Что касается экономической выгоды предлагаемого метода, то она видится в следующем:

- ▶ в существенном снижении требуемого уровня рабочих частот вращения. Это может повлечь снижение как первоначальных затрат при создании оборудования, так и эксплуатационных затрат вследствие повышения его ресурса;
- ▶ в повышении производительности оборудования при наработке мел-

кодисперсных гранул вследствие повышения мощности плазменной системы установки.

В пакете интеллектуальной собственности ОАО «ВИЛС» имеются патенты РФ на оригинальный способ получения порошков центробежным способом, который принципиально обеспечивает выполнение данных требований.

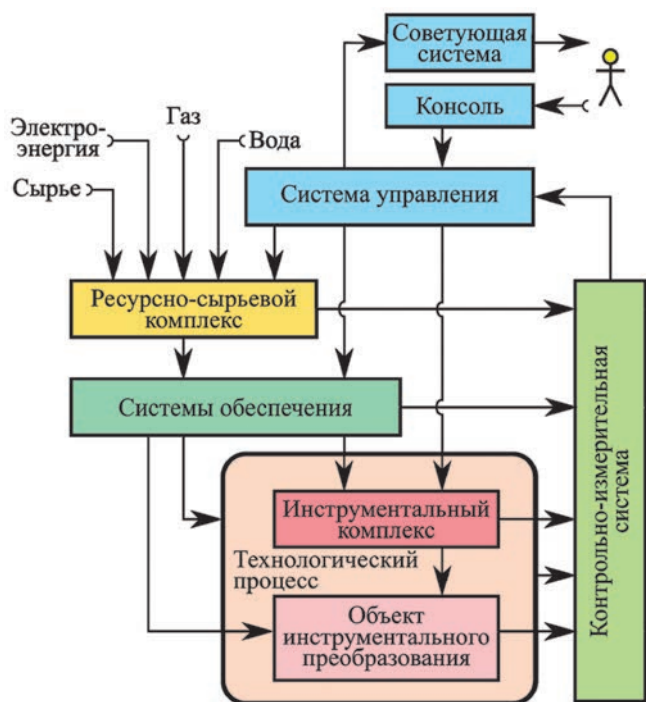
ВЫВОДЫ

1. Обозначены основные проблемы центробежного PREP-метода получения металлических порошков, заключающиеся в своей основе в меньшей рентабельности данного метода по отношению к методу газового распыления расплава.
2. Применение комбинированного центробежного струйно-плазменного способа, обеспечивающего получение мелкодисперсных фракций порошка при пониженных на 25-30% оборотах распыления в сравнении с PREP-методом;
3. Внедрение на установках типа УЦР перспективного плазмотрона камерного типа ЭДПМ-150, резко снижающего опасность загрязнения порошка продуктами эрозии электродов, в частности медьсодержащими частицами, в сочетании с ростом, практически на порядок, ресурса плазмотрона.

ГУСЕВ С.А., к.т.н., начальник РАЦ ПАО «Электромеханика»

УСТАНОВКИ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ УПУ

Серия универсальных установок плазменного напыления (УПУ) предназначена для нанесения металлических и неметаллических порошковых материалов, а также материалов в виде проволоки на поверхности деталей и сборочных единиц методом плазменного напыления. Производством данного типа оборудования ПАО «Электромеханика» занимается уже более пятидесяти лет. За это время предприятием разработано более двадцати типов оборудования и реализовано несколько сотен установок, которые успешно эксплуатируются в авиационной, атомной и других отраслях промышленности. В настоящей статье уделим особое внимание установкам типа УПУ-12, предназначенным для нанесения покрытия в атмосферной или вакуумной камере.



Структурная схема установок УПУ

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И СОСТАВ УСТАНОВОК УПУ

Структурная схема установок УПУ подчиняется общей структуре, характерной для большинства установок ПАО «Электромеханика».

Нанесение покрытий в установках УПУ осуществляется плазменной струей путем осаждения на изделие частиц напыляемого материала, вводимого в плазменную струю в виде порошка или проволоки.

При соударении с изделием, частицы, находящиеся в расплавленном или пластическом состоянии, деформируются и внедряются в микронеровности изделия или пластически его деформируют с образованием общих точек физико-химического взаимодействия, обеспечивающих прочность сцепления и плотность покрытия. Формирование слоя покрытия необходимой толщины осуществляется путем послойного напыления при перемещении плазмотрона относительно напыляемой поверхности.

Напыление порошка на поверхность может осуществляться как с внешними форсунками, так и с коаксиальными. На рисунке показаны катод 1 и анод 2 плазмотрона, к которым подключается источник питания Е, газ 3, подаваемый в плазмотрон под давлением, водоохлаждение 4, плазма 5, напыляемый слой 6, внешняя форсунка 7, приемная газовая камера 8, приемная камера для порошка 9.

Состав установок типа УПУ-12

- ▶ рабочая камера;
- ▶ система вентиляции и фильтрации;
- ▶ система управления перемещениями;
- ▶ система управления установкой;
- ▶ система подачи порошка;
- ▶ система подачи газа;
- ▶ система водоохлаждения;
- ▶ выпрямитель плазменного напыления ВПН-650-1;
- ▶ плазматрон;
- ▶ газоводоелектропроводка.

Станочный комплекс УПУ-12 представлен на рисунке.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС УСТАНОВОК УПУ-12

Плазматрон

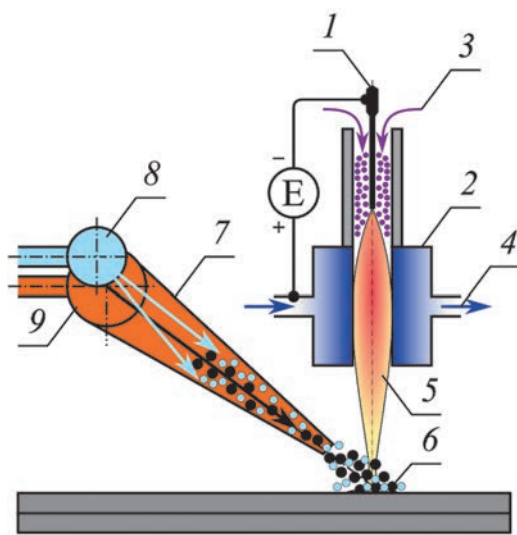
Плазматрон представляет собой разборную конструкцию, состоящую из катодной и анодной частей, разделенных изолятором.

Плазматрон может быть собран по двум вариантам путем замены деталей анода:

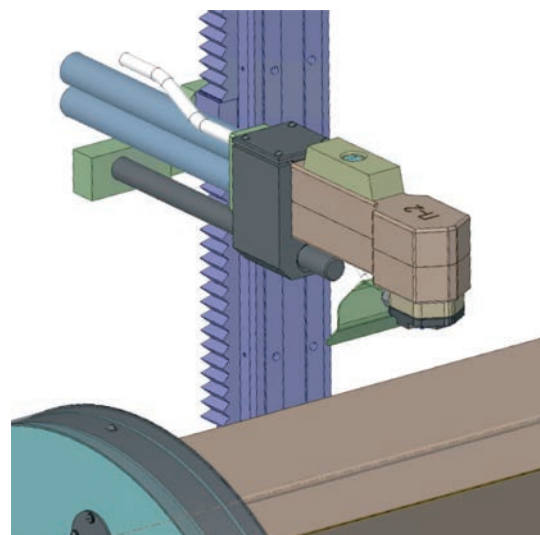
- 1) Обычный турбулентный для напыления порошком.
- 2) Плазматрон для напыления проволокой с измененной конструкцией анода. Катододержатель и анододержатель выполнены водоохлаждаемыми. Вода для их охлаждения через токоподводы поступает по припаянным к катодо- и анододержателям штуцерам, оканчивающимся резьбой М20х1,5.

Ввод порошка в плазменную струю осуществляется при помощи штуцера. Плазмообразующий газ вводится через штуцер. Стержневой катод крепится при помощи цанги и гайки, ввертываемой в катододержатель.

Генерирование плазменной струи в плазматроне осуществляется следующим образом. В дуговую камеру подается плазмообразующий газ, а к водоохлаждаемым катодной и анодной частям подается напряжение от источника питания. После пробоя дугового промежутка



Принцип напыления порошка плазматроном с внешней форсункой



Плазматрон в станочном комплексе УПУ-12

между катодом (электродом) и анодом (соплом) искровым разрядом осциллятора возбуждается дуга, которая ионизирует газ, проходящий через дуговую камеру сопла, превращая его в плазменную струю.

Материал покрытия в виде порошка (проволоки) вводится в плазменную струю, где происходит его нагрев, диспергирование (для проволоки) и ускорение частиц напыляемого материала.

Согласно технологическому регламенту процесса напыления, устанавливается расход плазмообразующего газа в пределах от 0,03 до 0,05 м³/мин (от 30 до 50 ст. л/мин), это обеспечивает турбулентный дозвуковой режим истечения плазменной струи.

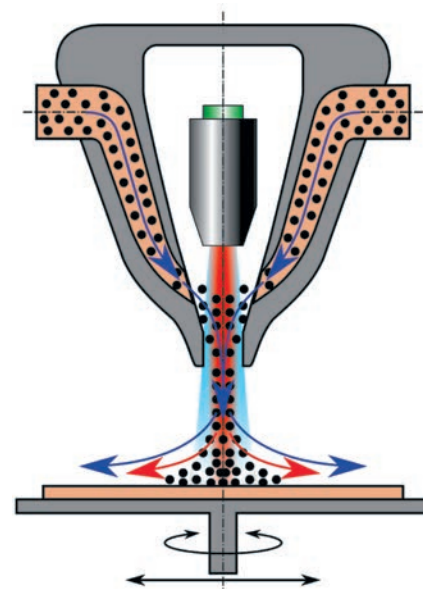
Термодинамические свойства такой струи позволяют производить напыление широкой номенклатуры материалов и обеспечивают формирование покрытий с достаточно высокой плотностью (80...90% от теоретической) и прочностью сцепления (10...35 МПа).

Данный режим напыления вследствие большого диаметра пятна распыления (до 40 мм) рекомендуется для напыления больших поверхностей.

Система подачи порошка

Система подачи порошка основана на применении порошкового дозатора GTV PF 2/2.

Порошковые дозаторы (питатели) типа GTV PF предназначены для точной

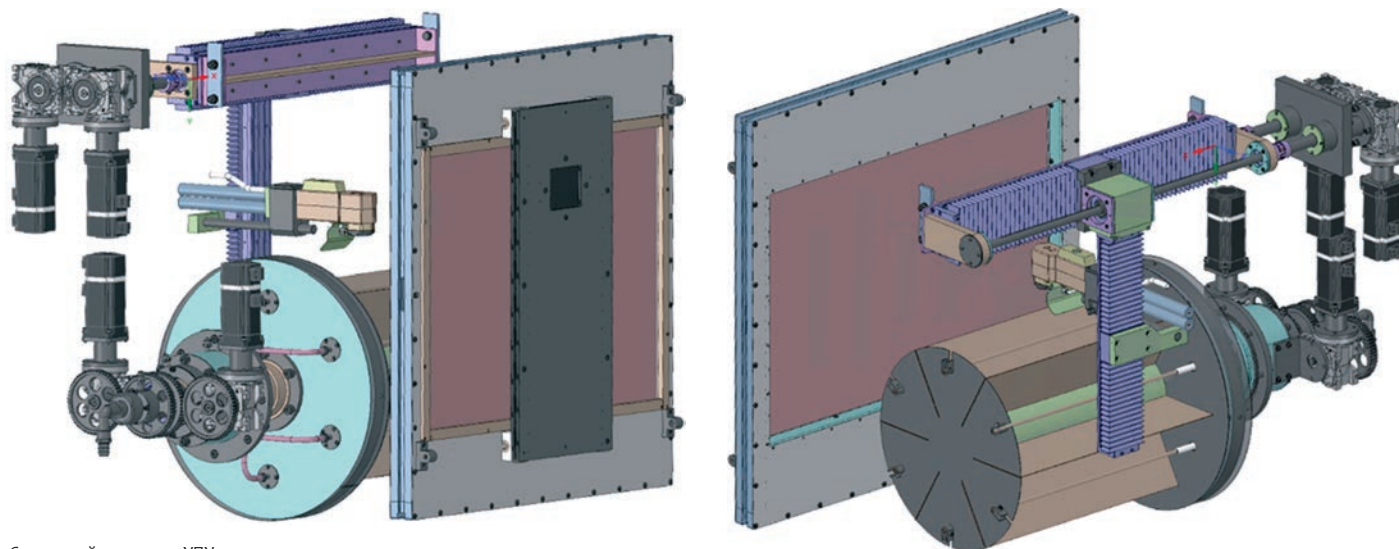


Принцип напыления порошка плазматроном с коаксиальной форсункой

дозированной подачи металлических, керамических, металлополимерных порошковых материалов с фракционным составом от 5 до 200 мкм в плазматрон установки для газотермического напыления.

Порошковый дозатор состоит из двух миксеров, двух бункеров, двух дисковых приводов регулирования подачи порошка. Газовая система питателя составлена из предохранительных клапанов, двух регуляторов расхода газа, электромагнитных вентилях, шлангов и дросселей.

Порошковые питатели оснащены масс-расходомерами порошка (весами)



Станочный комплекс УПУ-12

под каждую колбу для контроля массового расхода порошка, а также контроллерами массового расхода газа для обеспечения обратной связи и воспроизводимости подачи транспортирующего газа.

Управление работой осуществляет системой управления на базе контроллера Simatic S7-300.

Питатель порошка может работать в автономном режиме, управляться с центральной панели оператора или удаленно с устройства управления установки.

Емкость каждого из двух бункеров (колб) – 5 литров.

Максимальная производительность дозатора – 5 кг/ч по Al₂O₃ и 20 кг/ч по W.

Порошковый дозатор может комплектоваться системой нагрева для порошковых бункеров. Она представляет собой устройство для нагрева порошка, предназначенное для нагрева и поддержания материала распыления в сухом состоянии для надлежащего потока. Отопительные панели ISOPAD – это нагревательные устройства с силиконовой изоляцией для промышленного использования. Они используются для нагрева и компенсации потерь тепла на порошковых бункерах. Максимальная рабочая температура составляет 150 °С. Однако максимальная достижимая температура выдерживания зависит от конкретных условий эксплуатации. На него может влиять теплопроводность материалов, которые необходимо нагреть, как по производительности процесса, так и температуре окружающей среды.

Заданную температуру можно настроить на контроллере нагрева с ПИД-регулятором. После включения питания контроллер обеспечивает нагрев, чтобы температура нагрева была вблизи заданного значения. Обратная связь подтверждает, что система нагрева работает в режиме фиксированного цикла, чтобы достичь точного контроля температуры и уменьшить ее выбросы.

Состав и основные технические характеристики системы автоматизированного управления установкой

Система автоматизированного управления установкой плазменной универсальной УПУ-12 является децентрализованной и включает в себя следующие автономные компоненты:

- ▶ система (устройство) управления установкой;
- ▶ система (устройство) управления перемещениями;
- ▶ щит динамического регулятора газа;
- ▶ система подачи порошка;
- ▶ система водоохлаждения.

Система управления установкой обеспечивает автоматический выход установки в режим напыления и окончание процесса, с возможностью работы в ручном (наладочном) режиме, регистрацией и документированием параметров процесса по напыляемым деталям.

Система управления построена на базе современного программируемого логического контроллера платформы

BRX Micro (MPU) VX-DM1E-36ER3 и сенсорной операторской панели для реализации человеко-машинного интерфейса HMI MT8150iE.

Данные компоненты имеют несколько цифровых интерфейсов и могут работать в промышленных сетях различных структур.

Программируемый логический контроллер обеспечивает реализацию следующих функций:

- ▶ нанесение покрытия на деталь непрерывным потоком разогретых до размягчения или плавления частиц напыляемого материала (порошок) от источника ВПН-650-1;
- ▶ напыление двумя разновидностями транспортирующего газа: аргон или азот;
- ▶ напыление с разновидностями плазмообразующего газа: аргон-азот, аргон-гелий, аргон-водород, водород-гелий;
- ▶ блокировку процесса напыления по минимальному давлению плазмообразующего газа и по параметрам водоохлаждения.

Система управления перемещениями основывается на автономном 4-осевом контроллере числового программного управления DDCSV2.1, который обеспечивает:

- ▶ синхронизацию с системой управления установкой;
- ▶ поддержание заданной частоты вращения заготовок;
- ▶ стабилизацию скорости продольно-

го перемещения плазматрона;

- ▶ отображение текущих параметров координат перемещений на экране контроллера;
- ▶ ручное управление перемещениями с помощью пульта внешнего управления MPG;
- ▶ повторяемость перемещения плазматрона по контуру напыляемых деталей в соответствии с заданной программой.

Реализация этих задач обеспечивает применяемыми сервоприводами JASD и серводвигателями фирмы Shenzhen Just Motion Control Electromachics Co., Ltd с 20-битным высокоточным абсолютным энкодером.

Щит динамического регулятора газа содержит два контроллера массового расхода газа с клапаном с высоким расходом и диапазоном расхода газа 50 ст. л/мин. CX-MFC-XD-600-4R4-D-A1-F3-50-C1 (гелий, водород) и 100 ст. л/мин. CX-MFC-XD-600-4R4-D-A1-F3-100-C1 (азот, аргон).

Установка требуемых параметров расхода и типа плазмообразующего газа производится на этапе подготовки процесса напыления с пультов, расположенных на панелях контроллеров расхода газа и затем подача запускается с устройства управления установкой. При этом контроль подачи осуществляется по цифровому интерфейсу.

Точное поддержание установленных значений расхода и состава плазмообразующего газа с использованием динамического регулятора его расхода значительно улучшает качество напыления.

Система управления подачей порошка основывается на применении порошкового питателя PF 2/2 с панелью управления и нагревательными элементами.

Данный автономный питатель обеспечивает стабильную, плавно регулируемую подачу порошка любого типа (структуры). Параметры колбы позволяют производить точное дозирование материалов для подачи в технологическую среду.

Все параметры питателя настраиваются и отображаются в процессе подачи порошка на панели оператора. Питатель включает в себе две полноценные независимые порошковые линии.

Питатель состоит из шкафа управления, включающий в себя привода и систему управления на основе PLC Siemens S7, и установленные на него порошковые колбы с весами.

Данный питатель оборудован управляемыми элементами нагрева колбы, благодаря чему возможно обеспечить предварительный подогрев и просушку порошка непосредственно перед началом процесса нанесения покрытий, без использования сушильных шкафов.

Управление началом и окончанием подачи порошка осуществляется дискретными сигналами с устройства управления установкой. При этом контроль подачи осуществляется по цифровому интерфейсу и отображается на операторской панели HMI.

Система управления водоохлаждением основана на применении чиллера с хладопроизводительностью 50,2 кВт.

При этом для удаленного контроля и диспетчеризации системы охлаждения применяется цифровой интерфейс RS-485 для протокола MODBUS.

Управление работой системы на нижнем уровне производится от сертифицированного программируемого логического контроллера платформы BRX Micro (MPU) BX-DM1E-36ER3.

Управление работой системы на верхнем уровне производится от операторской панели Weintek MT8150iE.

Контроллер осуществляет управление процессом напыления (технологическая задача), оценку состояния технологической системы (диагностическая задача) и диспетчеризацию приведенных выше задач (системная задача).

Система управления обеспечивает работу установки в следующих режимах:

- ▶ «Ручное управление»
- ▶ «Программирование»
- ▶ «Автоматизированный».

На панели оператора индицируются в цифровом виде основные параметры процесса плазменного напыления с представлением всех необходимых для работы сервисных функций:

- ▶ многооконный интерфейс пользователя с цветной объемной графикой;
- ▶ эффективная системная поддержки всех прикладных процессов;
- ▶ запись отчета о ходе технологичес-

кого процесса; файл отчета может быть вызван на монитор для визуального анализа и на внешнюю флэш-память для дальнейшей обработки на персональном компьютере.

Система управления обеспечивает:

- ▶ защиту от несанкционированного доступа к параметрам настройки и программ технологического процесса;
- ▶ возможность вывода данных параметров процесса в цеховую компьютерную сеть;
- ▶ возможность настройки фиксированных программ напыления (16 и более);
- ▶ возможность подключения внешнего регистрирующего устройства с памятью;
- ▶ возможность работы установки в цикле (с подачей сигнала на включение-выключение) с системой управления перемещениями;
- ▶ возможность ввода в режиме «Программирование» ряда временных задержек:
 - t_1 – выдержка на продувку (включение источника)
 - t_2 – задержка на подачу плазмообразующего газа;
 - t_3 – выдержка на подачу транспортирующего газа;
 - t_4 – выдержка на подачу порошка;
 - t_5 – выдержка на отключение транспортирующего газа;
 - t_6 – выдержка на отключение источника;
 - t_7 – задержка на продувку в конце цикла (цикл стоп).

Программное обеспечение установки реализует следующую циклограмму ее работы:

Система управления верхнего уровня обеспечивает ввод-вывод паспортных данных на проведение плазменного напыления, дату и время проведения технологического процесса, а также регистрацию и просмотр технологических параметров плазменного напыления в графическом виде.

Система управления отображает на панели оператора индикацию следующих параметров:

- ▶ сигнал с датчиков расхода плазмообразующего газа;
- ▶ ток плазматрона;



Циклограмма типového процесса плазменного напыления

- ▶ напряжение источника;
- ▶ расход материала порошка;
- ▶ скорость подачи порошка.

Период сохранения технологических параметров – не менее 1 раза в 5 мин.

Системой управления обеспечивается контроль и управление технологическим процессом:

- ▶ отображение на панели HMI состояния основных элементов технологической системы и значений параметров процесса в реальном

- масштабе времени;
- ▶ ввод и коррекция параметров управления и отображение истории значений параметров;
- ▶ управление параметрами установки;
- ▶ контроль аварийного состояния узлов установки;
- ▶ отображение на мониторе причин неполадок;
- ▶ сохранение программ плазменного напыления;
- ▶ диагностика отказов.

Основные технические характеристики установок УПУ-12

| Наименование параметров, единица измерения | Значение параметра |
|--|---|
| Мощность, кВт | |
| установки, номинальная | 120 |
| системы водоохлаждения (чиллера), номинальная | 30 |
| плазматрона, максимальная | 40 |
| Диапазон рабочего тока, А, не уже | (100... 650) ± 10% |
| Диапазон рабочего напряжения на плазматроне, В не уже | 25... 70 |
| Нестабильность тока, %, не более | 3,0 |
| Количество порошковых дозаторов, шт. | 2 |
| Объем дозатора, м3 | 50±10-4 ± 10% |
| Производительность подачи порошка дозатором, г/мин. по Gd ₂ O ₃ по В | 0,1... 300 ± 1% 0,1... 300 ± 1% |
| Диаметр проволоки для напыления, мм | 0,8... 1,2 |
| Скорость подачи проволоки для напыления, м/с | 0,0051... 0,368 |
| Плазмообразующий газ | аргон, азот, водород, гелий |
| Транспортирующий газ | аргон, азот |
| Расход плазмообразующих газов, ст.л/мин. аргон водород азот гелий | 40... 100 2... 20 15... 50 2... 30 |
| Расход транспортирующего газа, ст.л/мин. аргон азот гелий | 0... 30 0... 30 0... 30 |

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СЕРИИ УСТАНОВОК УПУ-12

В процессе производства и эксплуатации, развития и усовершенствования конструкции оборудования серии УПУ установок УПУ-12 приобрели ряд преимуществ:

- ▶ расширены технологические возможности за счет модульности конструкции и автономности настройки модулей установки;
- ▶ введение в состав установок двух дозаторов (порошковых питателей) массоизмерительного типа с автоматическим поддержанием технологических режимов, что позволяет изменять природу порошка, производить напыление смесью двух порошков, осуществлять непрерывный процесс напыления переходом с одного дозатора на другой при повышенном до 5 л объеме бункеров;
- ▶ обеспечена возможность напыления проволокой – при оборудовании плазматрона механизмом подачи проволоки;
- ▶ улучшено качество напыления за счет варьирования количества вводимой в плазматрон энергии путем точного поддержания установленных значений тока источника питания и расхода и состава плазмообразующего газа с использованием динамического регулятора его расхода;
- ▶ увеличен ресурс работы катода и анода плазматрона за счет обеспечения плавного нарастания тока после возбуждения дуги, возможности работы на пониженных (< 315 А) токах при повышенных (180 В) напряжениях и улучшения охлаждения плазматрона при использовании замкнутой системы водоохлаждения на основе бидистиллята (чиллер).
- ▶ применена система управления перемещениями заготовки, плазматрона и подачи проволоки на основе автономного 4-осевого контроллера ЧПУ, синхронизируемого с системой управления установкой и обеспечивающего управление 4 сервоприводами с высокоточным поддержанием заданных скоростей перемещения и повторяемостью процесса;
- ▶ добавлена возможность использования водорода в качестве плазмообразующего газа с достижением большей кинетической энергии струи плазмы и расширением технологических возможностей установки.

ВРАЗРЕЗ С ДИНАСТИЕЙ

Говорят, что пути судьбы неисповедимы. А еще – что ни делается, все к лучшему. И первое, и другое в полной мере воплотилось в профессиональной жизни молодого успешного руководителя Александра Маркова, который в свои 35 лет руководит крупным сварочно-сборочным производством ПАО «Электромеханика».

Работа на заводе никогда не была целью Александра. Полученный в техникуме красный диплом по профессии помощника машиниста тепловоза рисовал в будущем рельсы, а династия, в которой все старшие в семье связаны с военными профессиями, обязывала думать о погонах. Он и думал: окончив институт и отслужив в армии, подал документы на зачисление в федеральную службу безопасности, по стопам деда, майора ФСБ. А пока шла проверка, трудился в военизированной охране. Но когда в связи с кадровыми реорганизациями и началом военных действий в одной из союзных республик проверка документов затянулась, молодой человек не стал подавать их вторично. Вместо этого, последовав совету друга, он пришел на завод, в диспетчерский отдел.

– Не понравится – найдешь что-то другое, – сказал товарищ, который на «Электромеханику» пришел со студенческой скамьи по предложению своего научного руководителя, заместителя генерального директора по производству Николая Чупятова. Александр, поняв, что сидеть с бумагами и на телефоне и заниматься логистикой перевозок по заводу ему мало подходит, нашел. Но это другое оказалось тут же, на «Электромеханике».

– Мне всегда было интереснее работать с чертежами, «железками», с техно-



цессом, – говорит Александр. – И поэтому я пошел к руководству. Меня поняли и вскоре перевели на должность начальника сварочного участка механо-сборочного производства. Благо эта деятельность мне была знакома с института. А через год последовало новое повышение – уже до должности замначальника производства.

И тут сидеть на месте точно не пришлось: начались постоянные командировки, связанные с наладкой и запуском оборудования на предприятиях-заказчиках. Первой стала дуговая печь 833-ДМ в Воткинске, затем установки для термообработки линейки ПВ и ПЭВ в Самаре... В командировках прошел и весь последний год, причем далеко, в Красноярске, где вначале проходила наладка и запуск у заказчика вакуумных установок для пайки, а затем начал возводиться корпус для барокомплекса. Вернулся Марков около

двух месяцев назад, а в командировке его сменил главный технолог.

А очередное повышение случилось и вовсе незаметно для Александра Маркова – тогда, когда он был в командировке.

– Приехал из Самары и узнал о своем назначении начальником сварочно-сборочного производства. Мне сказали: вот приказ, вот ключи от кабинета, иди работай, – улыбается Александр. Ему на тот момент было всего 32 года. И, конечно, возрастной барьер с основной массой сотрудников ощущался и ощущается до сих пор, признается он. Давать указания людям, которые и по возрасту, и по профессиональному стажу вдвое старше тебя, ему непросто. И Марков нашел для себя выход: просить реже, а больше делать самому. И сегодня его рабочий процесс выходит далеко за рамки должностных обязанностей – он вникает в каждую «железку», в каждую технологию, постоянно



присутствует в цехах и обсуждает решения с коллегами. А «бумажную работу», что поделывать, оставляет на выходные...

– Сейчас вот на техсовете возник вопрос: материал трубы – сталь 40Х, а в конструкторской документации значится использование нержавеющей стали. Значит, нужно менять технологию изготовления детали, теперь с главным сварщиком будем думать, какую операцию здесь использовать – я даже с коллегой с Урала созвонился, – рассказывает Александр.

Впрочем, учиться и на своем предприятии есть у кого. Отличный специалист по механической части – Валерий Викторович Зайцев. Человек-легенда Юрий Алексеевич Ладыгин может сделать и рассчитать все, что угодно, говорит Марков. Мастер сварочного участка Николай Николаевич Соколов, с которым Алек-

сандр стал тесно контактировать сразу после своего назначения, по опыту отлично знает режимы сварки, точно видит, как выполнить те или иные задачи и умеет организовать непрерывный процесс производства, чтобы сдать заказ в срок. В выполнении плана сдачи продукции большую роль играют Вера Сергеевна Некрасова, опытейший начальник заготовительного участка, которая очень грамотна и профессионально организует рабочий процесс, оптимально задействуя все возможности оборудования, в том числе и новейшего; Жанна Снимщикова, которая организует диспетчеризацию каждого узла и детали. Большие надежды подает в прошлом сварщик, а теперь – начальник сборочного участка Алексей Бурменко. Замначальника цеха Валерий Алексеевич Уткин изнутри знает весь процесс и, много лет руководя производством, трудится с полной отдачей и является правой рукой руководителя.

Есть кому учить, но вот учиться по ряду специальностей некому. А квалифицированные сотрудники нужны. Хотелось бы видеть на производстве больше молодежи, признается Александр Марков. Тем более, что на ПАО «Электромеханика» молодых специалистов приветствуют и поддерживают. Далеко не каждое предприятие берет на себя выплату процентов по ипотечным кредитам – уж Маркову-то, который в командировках много общается с коллегами из других городов, это хорошо известно. А наш завод это делает. Недавно Александр тоже воспользовался этой мерой поддержки. «Электромеханика» берет на себя и часть оплаты за детсад – об этом, говорит Марков, лучше расскажет его жена Ольга, тоже сотрудник нашего предприятия.

– Даже когда я ногу сломал на соревнованиях и почти шесть месяцев лежал, генеральный директор, узнав о ситуации, не только организовал мне операцию по остеосинтезу, но и выделил единовременную материальную помощь, – рассказывает Александр.

Но главное, что отличает сегодня наше предприятие от ряда других заводов города – большая стабильность. Предприятие обеспечено заказами, а это значит, его сотрудники будут обеспечены работой и зарплатой. Даже если деятельность предполагает разъезды, как у Александра Маркова и его коллег, с этим можно мириться. Чтобы обеспечить семью, можно и уехать, считает он. Потому что если сидеть дома, но без дохода и работы, вряд ли это будет лучшим для семьи.

На вопрос, чего все-таки не хватает, Марков говорит: времени и знаний. Хотелось бы получить больше профессиональных знаний в области сварки и различных тонкостей техпроцессов, ведь сейчас есть и новые технологии, и новое оборудование. И времени на то, чтобы учиться у таких профессионалов, как Ладыгин, тоже хочется больше. Ведь кто как не они расскажут о том, чему ни в одном институте не научат?

Впрочем, в 35 лет для этого еще много времени... «Сломав» семейную династию, Александр нашел дело по душе. А поскольку его супруга трудится на этом же заводе контролером ОТК, есть все шансы, что их дети станут продолжателями этой новой династии – династии заводчан.



ГУСЕВ С.А., к.т.н., начальник РАЦ ПАО «Электромеханика»

УПРАВЛЕНИЕ РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫМ НАГРЕВОМ ПЕЧИ

аэродинамических потерь

(заявка на изобретение RU 2730631 С1 30.09.2019)

Рециркуляционные нагревательные установки (РНУ) широко применяются в промышленности для процессов термообработки различных материалов в газовой и, в частности, воздушной среде. Принцип действия РНУ основан на использовании аэродинамических потерь, то есть преобразовании кинетической энергии молекул газопотока, циркулирующего в рабочем пространстве, в тепловую энергию, аккумулируемую элементами конструкции рабочей камеры. Поэтому в технике применяется и другое, возможно, более явно отражающее принцип действия, название: печь аэродинамических потерь (ПАП) (а также – агрегаты рециркуляционного нагрева (АРН)).

Масштабирование ПАП позволяет получать различные уровни температур и температурных градиентов в рабочих камерах печей, обеспечивая им применения в различных технологических процессах (ТП). Однако существуют процессы, требующие высокоточного выхода на заданную температуру, значение которой может изменяться в широком диапазоне от одного процесса к другому. В такой постановке актуальной становится реализация ПАП, конструктив и система управления которых обеспечивают широкие возможности к их перенастройке и управлению качеством технологического процесса: время регулирования,

установившееся значение, перерегулирование, возможность обеспечения нескольких технологических «полок» в технологическом цикле, нагрев и остывание печи по различным законам.

Для достижения перечисленных требований в установке должен быть реализован орган управления и система управления, обеспечивающая программное управление установкой.

Спецификой ПАП является их высокая инерционность, обусловленная необходимостью доведения больших газовых объемов до заданной кондиции при условии распределенности процесса нагрева печи по всему объему рабочего пространства.

Способ управления рециркуляционным нагревом предлагается рассмотреть на примере типовых печей аэродинамических потерь ПАП-3/ПАП-4, выпускаемых в ПАО «Электромеханика».

Функциональная схема ПАП представлена на рисунке, где принята следующая система обозначений:

- 1 загрузочный портал;
- 2 рама;
- 3 рельсовый путь неподвижный;
- 4 основание;
- 5 привод роторного нагревателя;
- 6 привод погружения садки в закалочную ванну;
- 7 роторный нагреватель (РН);
- 8 дроссельная жалюзийная заслонка с приводом (ДЗ);
- 9 формователь газопотока;
- 10 рабочая камера;
- 11 садка;
- 12 рециркуляционный газопоток;
- 13 под-тележка;
- 14 рельсовый путь подвижный;
- 15 механизм подъема пода-тележки;
- 16 закалочная ванна.

Способ управления рециркуляционным нагревом ПАП

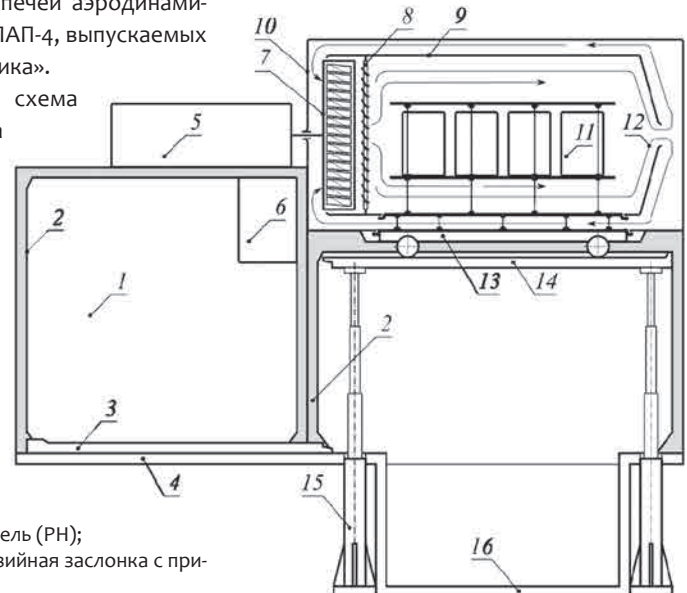
Способ управления рециркуляционным нагревом ПАП реализуют в следующей последовательности.

1) Под-тележку 13 устанавливают в загрузочный портал 1 на рельсовый путь неподвижный 3, смонтированный на основании 4. На раме 2 загрузочного портала 1 расположены привод РН 5 и привод погружения 6 садки 11 в закалочную ванну 16. Механизм подъема пода-тележки 15 фиксирует рельсовый путь подвижный 14 в нижнем положении на уровне основания 4.

2) После загрузки и фиксации садки 11 в под-тележку 13 под-тележку перемещают с рельсового пути неподвижного 3 на рельсовый путь подвижный 14 и фиксируют на нем от дальнейших перемещений.

3) Рельсовый путь подвижный 14 расфиксируют в нижнем положении механизма подъема пода-тележки 15 и перемещают его вместе с загруженным подом-тележкой 13 до стыкования с герметичным проемом в нижней части рабочей камеры 10.

4) Под-тележку 13 герметично фиксируют в нижнем проеме рабочей камеры 10,



Функциональная схема ПАП

образуя с ней единое целое, а садка 11 оказывается размещенной внутри рабочей камеры.

5) Разгоняют частотно управляемый привод 5 РН 7, и в рабочей камере 10 создается рециркуляционный газопоток 12, структура которого определяется формирователем газопотока 9. Аэродинамические потери, обусловленные взаимодействием газопотока с неподвижными частями конструкции рабочей камеры 10 и садкой 11, приводят к постепенному нагреванию газопотока и внутреннего содержания рабочей камеры 10, включая садку 11. ДЗ 8 находится в раскрытом положении (угол отклонения жалюзи равен нулю) и не оказывает существенного влияния на процесс нагрева газопотока.

6) Далее посредством программно управляемого отклонения жалюзи ДЗ 8 начинают существенно увеличивать скорость нагрева, однако, вместе с тем, подзапирается и газопоток. Таким образом, отклонение жалюзи дроссельной заслонки увеличивает скорость нагрева, но запираание газопотока снижает уровень достижимой температуры.

7) С целью компенсации запираания газопотока привод РН 5 дополнительно разгоняют для достижения заданного уровня температуры. Аналитический расчет, алгоритм которого приводится ниже, позволяет вести управляемый нагрев с компенсацией запираания газопотока одновременно с гарантированно прогнозируемым достижимым уровнем температуры.

Первым преимуществом предлагаемого в настоящем изобретении способе рециркуляционного нагрева является прогнозируемый и управляемый процесс нагрева печи аэродинамических потерь. Нагрев ПАП производится РН 5 до заданных температур (500... 600 °С) приблизительно за 8 часов. Управляемый нагрев до тех же температур достигается приблизительно за 3,5 часа, то есть длительность нагрева сокращается более чем в 2 раза, причем полученные результаты не являются принципиальным пределом возможностей способа. Принципиальным является способ воздействия на процесс нагрева, который обеспечивает широкие возможности управления ТП при очень низких температурных градиентах по рабочему объему печи (3... 5 °С).

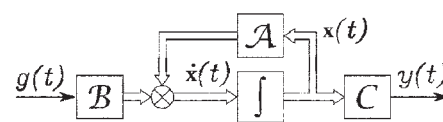
Силовым нагревательным модулем установки является РН с частотным приводом. Органом управления является ДЗ с изменяемым углом отклонения жалюзи. При неуправляемом нагреве жалюзи полностью открыты (угол отклонения жалюзи равен 0 град.) и не оказывают заметного влияния на циркулирующие воздушные потоки в рабочей камере. При управляемом нагреве жалюзи прикрываются (угол отклонения жалюзи > 0 град.), в результате чего вокруг центробежного вентилятора создается область повышенной плотности воздушных потоков. Вероятность столкновения молекул газовой среды значительно возрастает, что ведет к возрастанию скорости нагрева всего рабочего пространства камеры печи. Того же результата можно было бы добиться общим повышением давления в рабочей камере, однако это достигалось бы гораздо более ресурсоемкими и опасными способами. Сама по себе установка должна была бы проектироваться в рамках обеспечения безопасности сосудов под давлением.

Отклонение жалюзи с помощью цифрового электропривода обеспечивает не только ускорение нагрева печи, но и является инструментом гибкого управления параметрами технологического процесса, который может подчиняться заданной технологической программе нагрева.

Вторым преимуществом является мобильная система загрузки садки в печь, реализованная с помощью нижнего пода-тележки 13, доставляющего садку 11 в рабочую камеру 10 по рельсовому пути подвижному 14, поднимаемому механизмом подъема 15 пода-тележки 13.

Третьим (опциональным) преимуществом является мобильная система закалки садки в закалочной ванне, обеспеченная приводом погружения садки в закалочную ванну 6 и системой управления процессом закалки.

Ключевым звеном в способе рециркуляционного нагрева ПАП является ДЗ 8. Синтез регулятора привода жалюзи 8 основан на корневых методах оценки качества динамических систем. Система рециркуляционного нагрева рассматривается в концепции пространства состояний, структурная схема которой представлена на рисунке.



Структурная схема в концепции пространства состояний

Дифференциальное уравнение динамического объекта в форме Коши (разрешенной относительно первых производных вектора переменных состояний $x(t)$, где t – непрерывное время) рассматривается как уравнение состояния ПАП:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bg(t),$$

где A – матрица коэффициентов объекта управления (ОУ); B – матрица коэффициентов входа; $q(t)$ – задающее воздействие, определяющее требуемую температуру нагрева печи, которое может быть константой или функцией времени. Здесь и далее матрицы и векторы показаны жирными символами, а скаляры – обычными.

Уравнение состояния дополняется уравнением выхода:

$$y(t) = Cx(t),$$

где $y(t)$ – выходная переменная; C – матрица-строка коэффициентов выхода, определяемая составом и свойствами датчиков системы управления.

При замыкании отрицательных обратных (back) связей (ОС), как показано на фиг. 3, уравнение состояния дополняется уравнением управления $u(t)$:

$$u(t) = -K_b x(t),$$

где K_b – матрица-строка коэффициентов ОС, минус перед которой определяет отрицательный характер их замыкания.

Замыкание отрицательных ОС приводит к изменению общего коэффициента передачи системы:

$$K_{gain} = -C A^{-1} B, \quad (1)$$

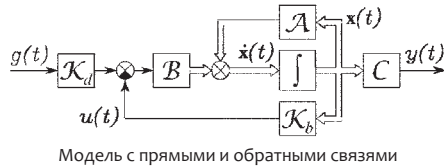
поэтому коэффициенты входа должны быть скорректированы прямыми связями K_d (direct), как показано на рисунке 3:

$$K_d = \frac{1}{K_{gain}}. \quad (2)$$

Объединив уравнения состояния, входа управления и выхода, получим математическую модель ПАП для непрерывного времени t :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + B[K_d g(t) + u(t)]; \\ u(t) = -K_b x(t); \\ y(t) = C x(t), \end{cases} \quad (3)$$

которая имеет один вход и один выход (модель класса SISO, single-input, single-output), а потому матрицу-столбец коэффициентов входа и матрицу-строку \mathcal{B} коэффициентов выхода \mathcal{C} .



Модель класса SISO может иметь бесчисленное множество абстрактных представлений в различных базисах, которые связаны линейными преобразованиями с ограниченным количеством физических моделей. Для динамической системы типа ПАП интерес представляет физическая модель, пространство состояний которой ограничено в интерпретации движения положением, скоростью и ускорением. В интерпретации нагревательной системы это пространство представляется температурой T , ее первой \dot{T} и второй \ddot{T} производными по времени. Таким образом, вектор состояний $x(t)$ можно представить в виде:

$$\mathbf{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T \\ \dot{T} \\ \ddot{T} \end{pmatrix}.$$

Модель в указанном пространстве физических переменных соответствует представлению в канонической форме управляемости (КФУ), для которой матрицы коэффициентов имеют следующие структуры:

$$\mathcal{A} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -\alpha_0 & -\alpha_1 & -\alpha_2 \end{pmatrix};$$

$$\mathcal{B} = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}; \quad \mathcal{C} = (\beta_0 \quad \beta_1 \quad \beta_2), \quad (4)$$

где коэффициенты идентичны коэффициентам передаточной функции в полиномиальной форме записи для той же системы:

$$W(s) = \left. \frac{\beta_{n-1}s^{n-1} + \dots + \beta_1s + \beta_0}{s^n + \alpha_{n-1}s^{n-1} + \dots + \alpha_1s + \alpha_0} \right|_{n=3} = \frac{\beta_2s^2 + \beta_1s + \beta_0}{s^3 + \alpha_2s^2 + \alpha_1s + \alpha_0},$$

где s – комплексная переменная преобразования Лапласа.

На рисунке представлена струк-

турная схема управления ПАП в пространстве состояний $x(t)$, которая имеет два органа воздействия на технологический процесс (РН и дроссельную заслонку). Оба органа воздействия функционируют одновременно, поэтому два процесса управления ТП по прямой связи (РН) и по обратной связи (ДЗ) суммируются в соответствии с принципом линейности. ДЗ обеспечивает управление по отрицательной ОС, замкнутой по вектору состояния $x(t)$.

Управляемый нагрев с прикрытыми жалюзи ДЗ создает дополнительное сопротивление рециркуляционному газопотоку печи, поэтому он должен сопровождаться увеличением скорости вращения центробежного вентилятора РН, что достигается перенастройкой скорости вращения РН, обеспечивая компенсацию записания ДЗ.

Управление нагревом ПАП выполняется контроллером, поэтому синтез регулятора с ОС по состоянию необходимо вести в концепции дискретного времени, соответственно непрерывную модель надо преобразовать к дискретному виду. Матрицы коэффициентов дискретной модели определяются формулами:

$$\mathbf{A} = \exp(\mathcal{A}h); \quad \mathbf{B} = \left(\int_0^h e^{\mathcal{A}(h-\tau)} d\tau \right) \mathcal{B}; \quad \mathbf{C} = \mathcal{C},$$

где h – шаг дискретизации; $0 \leq \tau \leq h$ – скользящее значение времени в пределах шага дискретизации.

Матрицы коэффициентов дискретной модели могут быть вычислены путем приближения матричной экспоненты степенным рядом:

$$\mathbf{A} = \exp(\mathcal{A}h) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(\mathcal{A}h)^k}{k!};$$

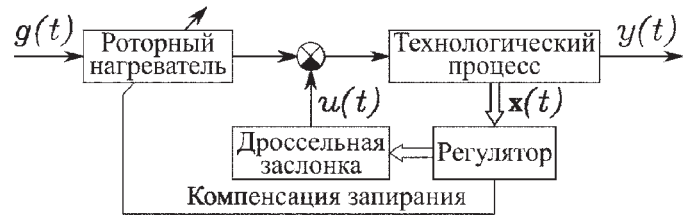
$$\mathbf{B} = \sum_{k=0}^{\infty} h \frac{(\mathcal{A}h)^k}{(k+1)!} \mathcal{B},$$

где на практике суммы могут быть ограничены 3...4 слагаемыми.

Введем в рассмотрение матрицу:

$$\mathbf{E} = h \sum_{k=0}^{3..4} \frac{(\mathcal{A}h)^k}{(k+1)!},$$

тогда формулы приближенного вычисления матриц коэффициентов дискретной



Структурная схема управления ПАП в пространстве состояний

модели принимают упрощенный вид:

$$\mathbf{A} = \mathbf{I} + \mathcal{A}\mathbf{E}; \quad \mathbf{B} = \mathbf{E}\mathcal{B},$$

где \mathbf{I} – единичная матрица.

Дискретная модель, имеющая матрицы коэффициентов плотной структуры, может быть преобразована к вертикальной сопровождающей канонической форме:

$$\mathbf{A}_V = \mathbf{W}_C^{-1} \mathbf{A} \mathbf{W}_C, \quad \mathbf{B}_V = \mathbf{W}_C^{-1} \mathbf{B}, \quad \mathbf{C}_V = \mathbf{C} \mathbf{W}_C,$$

где в качестве матрицы линейного преобразования используется матрица управляемости (Controllability matrix) дискретной модели:

$$\mathbf{W}_C = (\mathbf{B} \quad \mathbf{A}\mathbf{B} \quad \dots \quad \mathbf{A}^{n-1}\mathbf{B}).$$

Структура матриц вертикальной сопровождающей канонической формы имеет вид:

$$\mathbf{A}_V = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -\alpha_0^V \\ 1 & 0 & -\alpha_1^V \\ 0 & 1 & -\alpha_2^V \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{B}_V = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \mathbf{C}_V = (c_1^V \quad c_2^V \quad c_3^V),$$

где $\alpha_{0..n-1}^V$ – коэффициенты характеристического полинома дискретной модели, которые позволяют построить верхнетреугольную ганкелеву матрицу:

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} \alpha_1^V & \alpha_2^V & 1 \\ \alpha_2^V & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Дальнейшая структуризация с помощью ганкелевой матрицы \mathbf{H} приводит дискретную модель к КФУ:

$$\mathbf{A}_C = \mathbf{H}^{-1} \mathbf{C}_V \mathbf{H}, \quad \mathbf{B}_C = \mathbf{H}^{-1} \mathbf{B}_V, \quad \mathbf{C}_C = \mathbf{C}_V \mathbf{H}.$$

Структура матриц \mathbf{A}_C , \mathbf{B}_C , \mathbf{C}_C соответствует КФУ (4), однако их параметры получены в результате дискретизации исходной модели.

Матрица управляемости для КФУ равна обратной ганкелевой матрице \mathbf{H} :

$$\mathbf{W}_C^C = (\mathbf{B}_C \quad \mathbf{A}_C \mathbf{B}_C \quad \dots \quad \mathbf{A}_C^{n-1} \mathbf{B}_C) = \mathbf{H}^{-1}.$$

Задающее воздействие $q(k)$ определяет вынужденное движение системы автоматического управления, сопровождаемое изменением во времени ее вектора $x(k)$ состояния и выходного сигнала $y(k)$. Сигнал же управления по ОС $u(k)$ оп-

ределяет собственное движение системы автоматического управления, т. е. качественный характер переходных процессов $x(k)$ и $y(k)$ (их динамику). Иными словами, управление по ОС $u(k)$ обеспечивает динамику отработки системой задающего воздействия $q(k)$, переводящего ее из одного состояния в другое. Структура замкнутой дискретной модели системы с регулятором приведена на фиг 5, где z^{-1} – элемент задержки на один шаг дискретизации h .

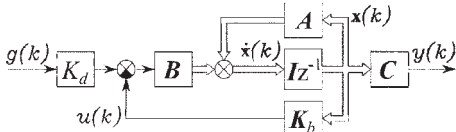


Рисунок 5

Дискретная модель ПАП, соответствующая системе (1), имеет вид:

$$\begin{cases} \mathbf{x}(k+1) = \mathbf{A}\mathbf{x}(k) + \mathbf{B}[K_d g(k) + u(k)]; \\ u(k) = -\mathbf{K}_b \mathbf{x}(k); \\ y(k) = \mathbf{C}\mathbf{x}(k), \end{cases}$$
 где k – номер шага дискретизации h .

Дискретные переменные, например, $y(k \cdot h) \approx y(t)|_{t=k \cdot h}$, приблизительно равны значениям непрерывных переменных в дискретные моменты времени с учетом погрешностей дискретизации и квантования.

Задача синтеза регулятора заключается в построении матрицы ОС (коэффициентов усиления регулятора) \mathbf{K}_b , обеспечивающей желаемое качество переходных процессов в системе, поэтому при синтезе регулятора задающее воздействие $q(k)$ можно исключить из рассмотрения.

С учетом системы (6) запишем уравнение системы, замкнутой ОС по состоянию:

$$\mathbf{x}(k+1) = (\mathbf{A} - \mathbf{B}\mathbf{K}_b)\mathbf{x}(k) = \mathbf{Q}\mathbf{x}(k),$$

где $\mathbf{Q} = \mathbf{A} - \mathbf{B}\mathbf{K}_b$ – матрица желаемой динамики дискретной модели ПАП.

Динамика управляемого объекта определяется расположением его полюсов на комплексной плоскости, причем полюсы устойчивого объекта должны лежать в левой полуплоскости (для непрерывной модели) и – внутри единичного круга (для дискретной модели). В процессе преобразования непрерывной модели в дискретную мнимая ось комплексной плоскости (граница устойчивости) трансформируется в окружность единичного радиуса. Корневые методы оценки качества непрерывных систем хорошо раз-

работаны, поэтому спектр желаемых полюсов системы удобнее задавать в непрерывном представлении т. е. в левой комплексной полуплоскости.

Вычислим полюсы системы для непрерывной модели (3):

$$\lambda_{\mathcal{A}} = (\lambda_1^{\mathcal{A}} \quad \lambda_2^{\mathcal{A}} \quad \lambda_3^{\mathcal{A}})$$

Зададим полюсы желаемой системы для непрерывного описания:

$$\lambda_{\mathcal{Q}} = (\lambda_1^{\mathcal{Q}} \quad \lambda_2^{\mathcal{Q}} \quad \lambda_3^{\mathcal{Q}})$$

и вычислим их дискретное представление:

$$\lambda_{\mathcal{Q}} = \exp(\lambda_{\mathcal{Q}} h).$$

Зададим матрицу желаемой динамики дискретной модели в диагональной форме:

$$\mathbf{Q}_{\Lambda} = \begin{pmatrix} \lambda_1^{\mathcal{Q}} & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2^{\mathcal{Q}} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3^{\mathcal{Q}} \end{pmatrix}.$$

Преобразуем ее с помощью алгоритма Д.К. Фаддеева (или по формулам Виета) к форме Фробениуса, которая соответствует КФУ:

$$\mathbf{Q}_C = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -\alpha_1^{\mathcal{Q}} & -\alpha_2^{\mathcal{Q}} & -\alpha_3^{\mathcal{Q}} \end{pmatrix}.$$

В соответствии с теоремой Гамильтона-Кэли характеристический полином исходной дискретной модели в КФУ имеет вид:

$$P(\mathbf{A}_C) = \alpha_1^{\mathcal{A}} \mathbf{I} + \alpha_2^{\mathcal{A}} \mathbf{A}_C + \alpha_2^{\mathcal{A}} \mathbf{A}_C^2 + \mathbf{A}_C^3 \equiv 0$$

Однако, при замене коэффициентов ХП матрицы \mathbf{A}_C на коэффициенты ХП матрицы \mathbf{Q}_C , получим:

$$P_Q(\mathbf{A}_C) = \alpha_1^{\mathcal{Q}} \mathbf{I} + \alpha_2^{\mathcal{Q}} \mathbf{A}_C + \alpha_2^{\mathcal{Q}} \mathbf{A}_C^2 + \mathbf{A}_C^3 \neq 0$$

Введем в рассмотрение матрицу строку $\eta = (1 \quad 0 \quad 0)\mathbf{H}^{-1}$, которая для КФУ имеет следующую структуру: $\eta_C = (0 \quad 0 \quad 1)$.

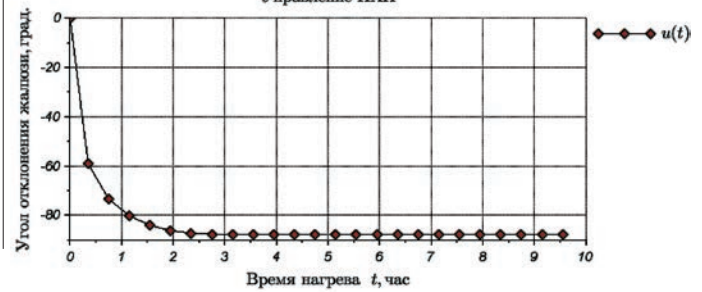
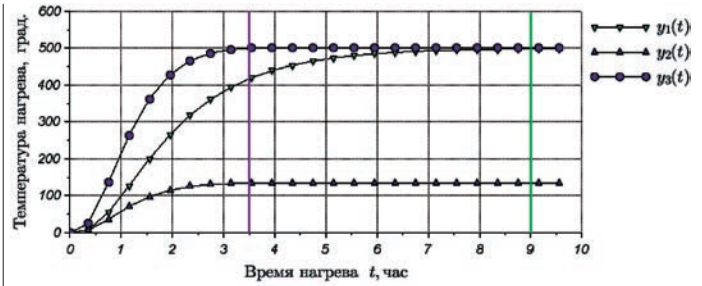
По формуле Аккермана матрица ОС для КФУ вычисляется следующим образом:

$$\mathbf{K}_b^C = \eta_C (\mathbf{W}_C^C)^{-1} P_Q(\mathbf{A}_C) = \eta_C \mathbf{H}_C P_Q(\mathbf{A}_C).$$

Матрица ОС для исходной дискретной модели (6) вычисляется обратным преобразованием: $\mathbf{K}_b = \mathbf{K}_b^C \mathbf{H}_C^{-1} \mathbf{W}_C^{-1}$.

Таким образом, получена матрица ОС, численные значения которой подлежат прошивке в память контроллера, управляющего нагревом ПАП.

Общий коэффициент передачи систе-



Процессы нагрева ПАП

мы для дискретной модели может быть вычислен по аналогии с формулой (1) для непрерывной модели и с учетом формул (5):

$$K_{gain} = -\mathbf{C}(\mathbf{A} - \mathbf{I})^{-1}\mathbf{B}, \quad K_{gain} = \mathcal{K}_{gain}$$

Синтез по приведенному алгоритму можно проводить в любом САД, поддерживающем матричную алгебру. Процессы нагрева ПАП показаны на рисунке. Процесс $y_1(t)$ отображает неуправляемый нагрев ПАП с РН (собственное движение динамической системы без ОС). Процесс $y_2(t)$ отображает управляемый нагрев ПАП с помощью РН при наличии управления $u(t)$ (вынужденное движение, обеспеченное ОС посредством программно осуществляемого запираания жалюзи дроссельной заслонки). Процесс $y_3(t)$ отображает управляемый нагрев ПАП с компенсацией запираания жалюзи дроссельной заслонки посредством коррекции ПС. Достигнутый в результате эффект заключается в почти 3-кратном ускорении процесса рециркуляционного нагрева.

Описанный способ рециркуляционного нагрева установок типа ПАП и АРН аппаратно и программно реализован и испытан с положительным результатом в ПАО «Электромеханика». Данный способ позволяет управлять в широких пределах процессом рециркуляционного нагрева ПАП, который синтезируется в строгом соответствии с требованиями ТП, ускоряя процесс ввода оборудования в эксплуатацию и увеличивая срок его эксплуатации за счет сокращения эмпирических подгонок к заданным параметрам функционирования.



НОВЫЙ РОССИЙСКИЙ САМОЛЕТ ЛМС-901

Лёгкий многоцелевой самолёт ЛМС-901, создаваемый Уральским заводом гражданской авиации, в четвертом квартале 2021 года должен приступить к лётным испытаниям, а к концу 2022 года ожидается его сертификация. Об особенностях конструкции новинки, текущем статусе программы и новациях, ранее не встречавшихся в отечественных машинах такой размерности, рассказал главный конструктор УЗГА по самолётостроению Вадим Дёмин:

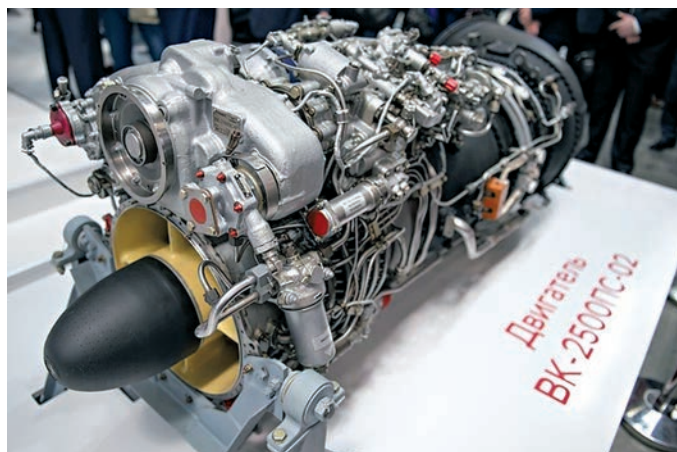
– Ключевые данные самолёта – это везти две тонны полезной нагрузки на дальность полторы тысячи километров, крейсерская скорость не менее 300 километров в час, взлётно-посадочные характеристики – не хуже, чем у Ан-2.

Задача соответствия требованиям ТЗ решается путём максимальной оптимизации конструкции, то есть уменьшения массы пустого самолёта, которая получилась почти на 1400 кг меньше, чем у Ан-2, и составляет 2040 кг. При этом с такой же загрузкой, как у Ан-2, мы имеем взлётный вес 3700 кг (максимальный разрешённый вес – 4800 кг), с которым самолёт легко взлетает с 200-220 метров. Характеристики по прочности грунта такие же, как у Ан-2. А за счёт того, что ЛМС-901 меньше, легче, имеет более высокое аэродинамическое качество, скорость на высоте 3000 метров на максимальном продолжительном режиме работы двигателя составит 300 км/час.

Ан-2 славился множественностью вариантов применения: пассажирский, грузовой, сельскохозяйственный. У ЛМС-901 основной вариант – пассажирский, на девять кресел. Кресла вдоль бортов, четыре слева, пять – справа. Есть вариант на 14 мест, часть кресел – двойные, при этом несколько уменьшается ширина прохода. Но этот вариант возможен только для специального применения, для некоторых авиационных работ. Возможен и комби-вариант, все кресла лёгкосъёмные, можно оставить любое их количество. Естественно, можно сделать парашютно-десантный вариант, вариант с медицинским модулем.

По поставщикам основных комплектующих и систем. На первом этапе мы ставим двигатель General Electric, та же модель, которая ставится на Л-410, но несколько другая модификация – для однодвигательных самолётов. В ней отличается количество так называемых «основных» деталей. Мотор сертифицирован в России. Воздушный винт Hartzell, четырёхлопастной, диаметром 2,6 метра. Шасси поставит НАО «Гидромаш». Что касается бортового радиоэлектронного оборудования, также на первом этапе возможно применение импортного оборудования типа Garmin или Honeywell с последующей заменой на отечественное.

В настоящее время выполнены следующие стадии проекта: разработаны аванпроект и эскизно-технический проект, подготовлен комплект рабочей конструкторской документации. Сейчас заканчивается изготовление образца для статических испытаний, это фактически просто каркаса планера, без шасси, обтекателей, люков и дверей. Лётный образец рассчитывают поднять в воздух во второй половине 2021 года, вторая лётная машина появится где-то в феврале 2022 года. И до конца года мы рассчитываем пройти типовую сертификацию.



ОДК ВПЕРВЫЕ ПРЕДСТАВИЛА ВЕРТОЛЕТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ BK-2500PC-02

Объединенная двигателестроительная корпорация на XII международной выставке вертолетной индустрии HeliRussia 2019 впервые представляет вертолетный турбовальный двигатель BK-2500PC-02, предназначенный для российского гражданского вертолета Ка-32.

Семейство двигателей BK-2500PC (разработчик – санкт-петербургское АО «ОДК-Климов») является дальнейшим развитием двигателя BK-2500 и обладает улучшенными эксплуатационными характеристиками. В нем используется современная цифровая электронная система управления и контроля с обратной связью типа FADEC БАРК-6В-7С.

BK-2500PC-02 предназначен для модернизации силовой установки вертолетов Ка-32. Его применение позволит серьезно повысить эксплуатационные качества вертолета, в том числе – надежность при работе с внешней подвеской.

В 2016 г. успешно прошел сертификационные испытания двигатель BK-2500PC-03. Он применяется в составе силовой установки новейшего вертолета Ми-171А2, однако учитывая его полную взаимозаменяемость с двигателями семейства предыдущих поколений (BK-2500, ТВ3-117) может быть установлен на вертолеты типа Ми-8МТВ (АМТ), Ми-17, Ми-171, Ми-172 с минимальными доработками. Двигатель BK-2500PC-03 в составе силовой установки вертолета Ми-171А2 в конце 2018 г. принимал участие в демотуре холдинга АО «Вертолеты России» по странам Юго-Восточной Азии – Китаю, Тайланду, Малайзии, Вьетнаму, Камбодже.

В двигателях семейства BK-2500PC реализована противопомпная защита, исключающая возможность отказа двигателя из-за мощных потоков воздуха, снижения атмосферного давления в условиях жаркого высокогорного климата, сильного бокового ветра при взлете и т. д. При этом решающее значение для эксплуатантов имеет возможность управлять ресурсом двигателя в зависимости от конкретных условий эксплуатации вместо существовавшего ранее усредненного подхода к оценке ресурса. Это позволяет избежать ненужных затрат на ресурсные работы, если двигатель эксплуатировался в щадящем режиме, и, напротив, сделает возможным досрочное получение сервисного обслуживания, если условия эксплуатации были близки к экстремальным. Межремонтный ресурс двигателя увеличен, чем у его предшественников, назначенный ресурс планируется увеличить до 12 тыс. часов.



ВСЕ ГРАНИ ТАЛАНТА ВИКТОРА КИСЕЛЁВА

Э то сегодня о четвертой промышленной революции слышал каждый, а искусственный интеллект и различные системы управления плотно вошли во все сферы нашей жизни. А тогда, почти полвека назад, о компьютерах почти никто ничего не знал. Виктор Киселев волею судьбы не только оказался у самых истоков развития информационных технологий и внедрения их в производство, но и непосредственно участвовал в этом процессе.

После школы он поступил учиться в МЭСИ, окончив его с дипломом экономиста и в звании младшего лейтенанта по программированию, и по распределению был направлен в Новосибирск, УПК ЦСУ РСФСР, где преподавал методику организации автоматизированных систем управления производством.

– Первую в нашей стране АСУП мы создавали на военном заводе «Химаппарат», это было сделано по заданию партии и на специально выделенные для этого деньги: тогда государство поставило задачу развивать информационные технологии

как средство увеличения производительности труда, – рассказывает Киселев. – Страна была в застое и проигрывала мировому капитализму в экономическом развитии. Факторы роста за счёт вовлечения новых природных и трудовых ресурсов были исчерпаны и нужны были новые подходы. Главный экономист СССР А.Н. Косыгин предложил сделать ставку на информационные технологии: создавать АСУП и АСУ ТП. Были выбраны институты по подготовке кадров (в Москве — это МЭСИ). И в 1969-70 годах мне пришлось непосредственно стать проектантом этой АСУП в составе отдела «Система», образованного в НИИ экономики. И первоначально она решала задачи экономики и бухучёта именно на этом предприятии. А затем они уже получили распространение по всем предприятиям страны.

Первые компьютеры, с которыми мы работали, занимали по площади порядка ста квадратных метров (это были ЭВМ типа «Урал», БЭСМ-6). Исходя из составленного программистом алгоритма, эти машины решали задачи, которые человек

Виктору Михайловичу Киселеву, ведущему инженеру-конструктору научно-технического центра ПАО «Электромеханика», 4 ноября нынешнего года исполнилось 75 лет. Почти 48 из них он работает на нашем предприятии, и все эти годы его непосредственная деятельность связана с разработкой автоматизированных систем управления.

решить был не в состоянии, либо на это ему потребовалось бы очень много времени: отслеживать траекторию полета ракеты или просчитывать ее, исходя из различных факторов (и чем точнее этот расчёт, тем больше вероятность, что в реальности она ляжет в заданную точку). Моя военная специализация, кстати, связана с программированием ЗРК. В МЭСИ мы решали задачи обработки информации, поступающей в виде отчётов с предприятий. На такой анализ пришлось бы работать целому отделу длительное время, машина же проводила его за считанные минуты.

В очередной отпуск Виктор Киселев приехал в Ржев. И предложил руководству моторного завода создать АСУП... Там сначала согласились, но планы эти осуществить не удалось. Зато перспективы заинтересовали другого директора – Михаила Павловича Кулешова, который тогда руководил «Электромеханикой». И в 1971 году Киселев вместе с Владимиром Шмельёвым приступили к этой работе. Много времени ушло на создание банка данных, сбор информации, подготовку кадров, а сама система управления предприятием, говорит Киселев, была запущена в довольно короткие сроки.

Кстати, эта АСУП успешно работает и сегодня. Но, конечно, это уже совсем другие машины – те, первые, занимали по несколько шкафов каждая. Сегодня АСУП – компьютер с большим объемом памяти и набором необходимых программ, кото-

рый создает нужные документы, составляет отчёты и прочее.

В 1973 году руководство «Электромеханики» поручило Виктору Михайловичу создавать АСУ ТП на линейке нагревательного оборудования. Это было время, когда одной из насущных задач отечественной авиации было создание машин с пониженным уровнем шума – наши самолёты из-за этого не пропускали на западные аэродромы. Всесоюзные НИИ и ряд предприятий подключили к проектированию уникального

оборудования, в том числе и «Электромеханику». Затем стране потребовались мощные газоперекачивающие станции, и поставщиком оборудования для производства лопаток газотурбинных двигателей вновь становится наш завод. И все это оборудование создавалось при непосредственном участии Виктора Киселева и его коллег.

Так, «Электромеханика» спроектировала и изготовила печь ПМП-4, которая позволяла на полном автомате изготавливать уникальные лопатки для мощных двигателей. Руководил проектированием и запуском этой печи по электрической части Виктор Киселёв, по механической – Юрий Ворслов. Принимал эту печь знаменитый академик, президент академии наук СССР Анатолий Александров. В 1985 году он впервые в авиационной отрасли спроектировал и внедрил совместно с НИАТ систему АСУ ТП с управлением от российского персонального компьютера на базе установки ПМП-4.

К сожалению, говорит Виктор Киселев, отечественные разработки элементов этих систем оказались напрасной тратой государственных денег, они были громоздкими, малопроизводительными и были заменены импортными.

– В конце 2000 года встал вопрос, от какого контроллера управлять АСУ ТП, – продолжает рассказывать Виктор Михайлович. – Российские контроллеры были громоздкими, и их элементная база, изготавливавшаяся в Зеленограде – основном в стране заводе-монополисте, – приказала долго жить. Я не берусь ответить на вопрос, кем и с какой целью был иници-



ирован процесс гибели этого передового предприятия. «Электромеханика» одно время делала свои контроллеры по разработкам инженера-электронщика Анатолия Оболенского – ржевского Кулибина. Я обеспечивал аппаратную стыковку модулей контроллера с установкой.

АСУ ТП дает оборудованию ряд известных преимуществ. Это точность и быстрота технологического процесса, как минимум. А еще – беспристрастность. Например, на процесс сварки, производимый человеком, может оказать влияние его самочувствие, настроение, усталость и многое другое. Машина под управлением АСУ ТП выполнит нужную операцию одинаково качественно, даже если она у нее сотая за сегодня по счету и сейчас два часа ночи. Оператору останется лишь проконтролировать этот процесс, исходя из данных, которые предоставляет ему на монитор промышленный контроллер, принять решение о корректировке, продолжении или прекращении технологического процесса. И каждая уникальная установка, сконструированная и изготовленная на «Электромеханике», управляется АСУ ТП. В том числе и инновационные разработки в сфере аддитивных технологий, такие как установки серии «Гранула».

– Сейчас у нас в работе, – продолжает рассказывать Киселев, – две крупные установки для предприятий авиадвигателестроения, которые подлежат модернизации. Этот процесс сейчас очень востребован: оборудование, задействованное на предприятиях, в массе своей надежное, крепкое и работоспособное. Но развитие технологий, в том числе ин-



формационных, дает новые возможности для оснащения их более современными элементами конструкции и системами управления. Это, безусловно, повысит качество продукции и производительность работы данного оборудования и предприятия в целом, поэтому расходы на такую модернизацию оправданы. Только модернизируясь и используя все возможности, которые дает научно-технический процесс, мы сможем не отстать от Запада. Но на то, чтобы это происходило повсеместно, нужна государственная воля и финансирование... Я же занимаюсь тем же, чем занимался всю жизнь: составляю и проектирую системы управления, стараюсь передать знания молодежи. И очень хорошо, что есть те, кто хотят и готовы их принять, несмотря на то, что моя профессия очень непростая и кропотливая, требует обширных знаний и специфической подготовки. Есть молодые, которые готовы учиться, и они уже схватывают буквально на лету и создают свои проекты.

А еще Виктор Михайлович живет активной общественной жизнью и занимается творчеством: пишет стихи, рассказы, фотографирует, рисует портреты и природу разными способами, в том числе методом сухой кисти, участвует в различных мастер-классах и даже представляет свои работы на выставках и различных конкурсах. Он – активный участник двух певческих объединений, кроме этого, танцует в танцевальных коллективах, принимает участие во всех патриотических акциях. И бережно хранит историю своей семьи и предков, которыми гордится.

ОТ УЗКОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ К ШИРОКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ



Наше предприятие осваивает выпуск быстровозводимых модульных зданий по принципиально новой технологии.

Целью реализации программы по установке ФАПов на сельских территориях было обеспечить доступность медицинской помощи для населения. Ранее фельдшерско-акушерские пункты располагались в зданиях, порой не приспособленных и требующих переоснащения и дорогостоящего ремонта. Разумным и целесообразным с позиции экономии бюджетных средств решением стала идея заново строить в населенном пункте ФАП, изначально проектируя его так, чтобы в одном здании предусмотреть не только помещения для приема пациентов и ожидания приема, проведения необходимых процедур и прочего, но и квартиру для специалиста-медика и его семьи.

Программа возведения в районах модульных ФАПов начала реализовываться в регионе с 2017 года по инициативе губернатора Тверской области Игоря Рудени. Еще на начальном этапе создания концепции этой программы глава региона особо отметил: она должна быть реализована с учётом технологических возможностей предприятий Тверской области. Основная часть работы велась на «Электромеханике», где под сборку ФАПов был отведен один из цехов – в нем из отдельных элементов монтировались целые здания: с полами и крышами, окнами и дверьми, стенами, отделанными кафелем и встроенными светильниками. Вопрос теплоснабжения таких зданий был изначально решен путем монтажа при каждом помещении котельной с оборудованием – пиролизным котлом, тоже производства ПАО «Электромеханика». На ежегодном форуме муниципальных образований Тверской области председатель Государственной Думы РФ Вячеслав Володин дал высокую оценку работе региона по установке ФАПов, отметив перспективы поставки модульных ФАПов собственного производства в другие регионы.

тановлены и функционируют в каждом сельском районе нашего региона.

То, что именно ПАО «Электромеханика», предприятие с возможностью вовлечения крупных производственных мощностей и использования самых различных технологий, стала основным исполнителем областной программы, имело ряд преимуществ. Таковыми являлись отладка процессов и осуществление подавляющей части работ в заводских условиях, увеличение скорости возведения зданий по отношению к традиционным методам строительства, улучшение эксплуатационных характеристик строений за счёт применения новаторских технологий контроля качества при изготовлении элементов, возможность избежать строительных ошибок благодаря выполнению работ квалифицированными бригадами в условиях сборочного цеха.

Каждый такой ФАП – это мини-амбулатория, с помещениями для приема и осмотра пациентов и проведения процедур, собственной котельной, а также в некоторых случаях с жилой зоной для медработника. Такие строения, которые могут быть адаптированы под самое разное назначение, широко востребованы. И сегодня, продолжая это направление, наше предприятие начинает производить другой тип модульных зданий, обещающих по эксплуатационным качествам во многом превзойти быстровозводимые ФАПы.

Первый пилотный модуль, который должен пройти испытания и дать начало



Строительство быстровозводимых модульных зданий стало одним из многочисленных направлений деятельности ПАО «Электромеханика» больше трех лет

назад. Предприятие по заказу правительства Тверской области разработало модельный ряд и освоило выпуск фельдшерско-акушерских пунктов блочно-модульного типа, которые сегодня ус-

серийному производству, уже построен. И это опытное здание – совершенно иного, нежели ФАП, вовсе не медицинского назначения.

– Нами сейчас разрабатывается целый ряд проектов быстровозводимых зданий с использованием новых материалов и технологий, – говорит курирующий это направление заместитель технического директора ПАО «Электромеханика» Сергей Алексеев. – Модули, используемые нами сейчас, представляют собой не объемные блоки, а целые панели, которые можно комбинировать по-разному и добиваться архитектурного, технологического, планировочного и композиционного разнообразия.

Все панели стыкуются между собой закладными деталями по принципу детского конструктора.

Установка модулей возможна на любой тип фундамента, важна лишь ровная поверхность. Самым универсальным вариантом является использование винтовых свай, и в этом случае не нужно выравнивать грунт, нижнюю панель мы ставим прямо на ростверк-опоры.

Каркас строения выполняется на основе легких стальных тонкостенных профилей. Технология ЛСТК решает проблему мостиков холода и позволяет облегчить вес конструкции. В качестве утеплителя используются плиты базальтовой ваты толщиной.

150-200 мм, снаружи устанавливается ветрогидрозащита и обрешетка под вентилируемый фасад, придающая дополнительную жесткость конструкции. Например, для основания здания, проще говоря, для пола, берем утеплитель толщиной 200 мм, и вместе с профилем получаем толщину 280 мм. Такие же материалы используются для крыши, стены чуть тоньше – 210 мм.

Все материалы – негорючие, что немаловажно для безопасности и значительно расширяет эксплуатационный потенциал строений. Мы не стараемся сохранить первоначально взятую специализацию на изготовление зданий медицинского назначения (хотя помимо ФАПов, уже имеем готовые проекты и готовы разработать и построить поликлиники, станции скорой помощи и другие объекты здравоохранения). Это могут быть бытовые и техниче-



ские помещения, жилые здания для временного или постоянного размещения.

Большую свободу в проектировании модульных зданий самого различного назначения по новой технологии нам дает и то, что в ней отделка фасадов может выполняться из различных материалов: от базового СМЛ листа с покраской или профнастила до деревянной рейки, фиброцемента, стального фальца или металлических кассет. Это позволяет выполнить здание в различных архитектурных стилях и решениях, и после сборки, возможно, оно не будет напоминать обычные модульные конструкции, к которым мы привыкли. Каждое из них будет выглядеть уникально в зависимости от типологии, привязки к месту и требований технического задания. Более того, вариативность типов отделки является ключевой характеристикой новой системы быстровозводимых зданий производства ПАО «Электромеханика». И, конечно, неоспоримым преимуществом новой технологии стала возможность возводить одно- или двухэтажные объекты практически любого размера. При этом все технологические, санитарные и строительные нормативы будут соблюдены.

Панели, из которых будет собрано здание, производятся в заводских условиях и сразу с применением отделочных материалов. Интерьер может быть выполнен с использованием керамогранитной плитки, стекломатных окрашенных листов, фиброцементных панелей, деревянных реек, линолеума или другого напольного покрытия. В панели сразу же заложены и инженерные коммуникации: электрика, сантехника. Здание может



иметь водяное или электрическое отопление, оснащаться системами вентиляции и климат-контроля.

Это принципиально новый подход, следующий шаг в модульном строительстве после освоенной нами технологии изготовления фельдшерско-акушерских пунктов.

В самом начале публикации мы упомянули об опытном образце, который уже возведен неподалеку от заводских корпусов, на высоком берегу Волги. Это жилое здание общей площадью 38 квадратных метров в двух ярусах, высотой порядка шести метров. Своего рода мини-гостиница, а точнее, современное шале, которое по сути является блочно-модульным зданием, однако откуда взялась лиственница вовсе его не напоминает.

Вначале этот красивый дом собрали в заводских условиях, причем сам процесс сборки максимально упрощен и осуществить его могут два строителя дня за три. Затем провели термоиспытания, динамически проверили на прочность. Демонтировав, перевезли на стройплощадку, где произвели повторный монтаж. Подключение коммуникаций, установка дверей – и можно пользоваться строением.

Стоит задача в течение ближайших месяцев выяснить, как будет проходить эксплуатация в зимних условиях, какова будет влажность, устойчивость к низким температурам, та же шумоизоляция... В ближайшее время рядом с этим шале вырастут еще несколько, построенных по этим же конструкциям, с несколько другими параметрами и технологиями, также с целью испытаний.



ОТРАСЛЬ МУСОРОПЕРЕРАБОТКИ ПЕРСПЕКТИВНА

и нуждается в новом
оборудовании

«**П**рисылайте техническое задание, и мы изготовим оборудование по вашему запросу». Такую фразу от специалистов ПАО «Электромеханика» уже привыкли слышать заказчики, коллеги и партнеры. И это действительно так: специализацией предприятия

является именно разработка и изготовление уникальных, большей частью несерийных установок, которые конструкторы и инженеры «Электромеханики» разрабатывают с нуля. Научно-технический потенциал и квалификация всех без исключения подразделений нашего предприятия позволяют это сделать, причем

сделать на высочайшем уровне. Именно поэтому «Электромеханика» одной из первых включилась в процесс импортозамещения, именно поэтому проекты предприятия способны конкурировать с общемировыми и востребованы не только в России, но и за рубежом, именно поэтому направленность оборудования, которое берется конструировать, модернизировать и изготавливать наше предприятие, не столь важна, ведь его компетенции позволяют работать в направлении разработки и производства электронно-лучевого, термического, литейного, сварочного оборудования, добиваться высоких температур и степеней вакуума в самого разного объема установках и осваивать передовые аддитивные технологии.

Еще одной отличительной чертой ПАО «Электромеханика» является способность быстро включаться в процесс разработки и производства продукции, востребованной в определенный период времени. Так была изготовлена первая,



позже ставшая серийной, партия модульных фельдшерско-акушерских пунктов, положившая начало целому направлению проектирования и производства в одном из цехов предприятий модульных зданий самого разного назначения. Так стало возможным освоить выпуск востребованных в период борьбы с коронавирусом клапанов для подачи кислорода для аппаратов ИВЛ. И именно так возродилось на сегодняшней «Электромеханике» направление по разработке и производству техники для работы с коммунальными отходами, десятилетия назад начатое и позже завершённое на заводе.

Сегодня эта техника еще более вос-

требована, а отечественных машин и оборудования очень мало, как и самих технологий работы с отходами, в том числе токсичными. Данное направление стало темой визита на ПАО «Электромеханика» заместителя министра экологии и природопользования Московской области Павла Бида и заместителя председателя Экспертного совета по национальному проекту «Экология» Ильи Островкина.

Визит с экскурсией по предприятию стал шансом для гостей познакомиться с его деятельностью, производственными мощностями, возможностями по выпуску оборудования и его готовыми образцами. После этого представители правительст-

ва Московской области и руководство ржевского предприятия пообщались в режиме круглого стола, что позволило буквально сразу наметить перспективы для будущего сотрудничества.

Проблема сортировки, переработки и утилизации отходов для нашей страны в целом не новая. Однако именно в последнее время её актуальность наиболее возросла.

– Основная задача, которая ставится перед нами как перед министерством – это применение наиболее доступных и эффективных технологий – как в отношении сортировки и переработки мусора, так и в отношении работы с уже отделенными отходами и фракциями. В настоящий момент у нас не имеется базы, которая позволяла бы выполнять опытные образцы оборудования перед запуском их в серийное производство. В лице «Электромеханики» я рассматриваю именно такую базу, видя, что уровень специалистов и техническая оснащенность предприятия вполне способны справиться с данной задачей, – сказал Павел Бид.

Национальный проект «Экология», который рассчитан до 2024 года, скорее всего, будет продлен еще на шесть лет, сказал Островкин в продолжение разговора.

– Проблемным моментом является тот факт, что программа не подкреплена необходимым для ее реализации сегментом – созданием условий для научно-технических разработок и внедрения новых технологий в область переработки разных типов твердых и жидких и газообразных отходов с целью снижения класса их опасности. Нужны и сами разработки, и подготовка технологий, и адаптация и модернизация существующего оборудования для реализации этих целей. Принимая во внимание опыт ПАО «Электромеханика» в изготовлении термического, вакуумного и плазменного оборудования, в которых вы достигли высокого уровня, я видел бы смысл сконцентрировать усилия предприятия в обозначенном нами направлении и поработать над реализацией данных задач. Вам под силу сформулировать перечень идей под те группы оборудования, которые представляют интерес для нашей отрасли, подготовить предложение в соответствии с возможностью



вашего предприятия выпускать такое оборудование и, начиная с опытных образцов, в будущем проектировать такое оборудование для всей страны.

Оно, я убежден, будет востребовано, потому что сегодня самый дешевый способ утилизации отходов – это вывоз на полигон.

Второй общепринятый способ утилизации отходов в нашей стране это сжигание. Мусоросортировочные заводы на своих линиях сегодня могут разобрать ТКО по каким угодно фракциям. Но эта работа окажется бесполезной, пока не будет найден потребитель этих продуктов, тот, для кого они окажутся полезными в плане переработки. И уже на стадии проектирования оборудования для мусоросортировки мы должны понимать, какая продукция будет переработана, а в

отрасли мусоропереработки.

Нужно привлекать новые технологии создавать систему замкнутого обращения с отходами в народном хозяйстве.

Мы готовы разделить все на все. Но вопрос, что с этим дальше делать. Конкретная задача – в процессе применения на полигонах технологии обратного осмоса был получен концентрат фильтрата – жидкость, более опасная и более дорогая в переработке, чем исходный продукт. В сутки ее образуется 200-250 тонн. Надо думать, как, на каком оборудовании ее эффективно высушить, заодно обезвредив свалочный газ. Применение высоких температур и других технологий позволит обезвредить органические соединения, абсорбировать и разрушить частицы тяжелых металлов сложных соединений и свести вредные выбросы и неперерабо-

беремся помочь. Второй аспект – создание принципиально новых технологий и видов оборудования, позволяющего решать те задачи, которые возможностями сегодняшнего оборудования и технологий не решаются. Для нас это направление ближе и понятнее, поскольку ПАО «Электромеханика» привыкло и умеет решать нестандартные и даже нерешаемые задачи, что успешно применяет в авиационно-космической промышленности и готово попробовать в других отраслях. Есть проблема работы с ТКО – и мы вместе со своими партнерами, среди которых есть и исследовательские центры, и предприятия, готовы в нее включиться. Такой подход позволит рассматривать задачу комплексно и комплексно же ее решать – от начала проектирования до финишного запуска оборудования на конкретном полигоне.

– Технологии работы с отходами во всем мире разные, но в основном они базируются на одних и тех же принципах, и потому используемое оборудование большей частью повторяет друг друга, с отдельными нюансами, – продолжил проникновение в тему Островкин. – Существует достаточно много видов оборудования, тех же сепараторов, однако зачастую оно не вполне отвечает запросам по эффективности. И мы должны понимать, что просто копировать технологии и машины, которые в этой отрасли используются за рубежом, недостаточно. Надо идти дальше и предлагать новое.

– Одна из проблем функционирования закрытых полигонов ТКО – образующийся в процессе переработки отходов свалочный газ. Один из способов его утилизации – сжигание. Можно построить достаточно большую и сложную конструкцию газовых скважин, которые будут собирать газ в емкостях и отправлять ее в объеме порядка 2,5 тысячи кубических метров в час. В Америке используют несколько другую технологию – не накапливать большими объемами, а сжигать газ в нескольких местах выхода понемногу.

– Это уменьшит процесс метаногенеза, – согласен Островкин. Потому что чем глубже скважина, тем больше газа образуется, который нужно обезвредить. Я предлагаю идти по пути уменьшения влажности на закрытом полигоне, что уменьшит газообразование, и не накап-



отношении той, которая переработана не будет – куда мы ее денем.

Мы строим и заводы, и полигоны, и мусоросжигательные комплексы, и сейчас вошли в стадию активного проектирования объектов. Сегодня в стадии прохождения экспертизы у нас находится порядка 8 объектов. Параллельно работаем и над созданием нормативной базы, методических указаний, и хотели бы разрабатывать типовые проекты комплексов оборудования и целых предприятий для

танные остатки к минимуму. Московская область готова стать потребителем такого оборудования прямо сейчас.

Виктор Константинов прокомментировал услышанное:

– К сожалению, зачастую идеи и возможности, даже четко сформулированные, очень сложно и трудно доходят до применения в серийном оборудовании. Преодолеть эту сложность можно с помощью ваших компетенций и наших технических возможностей, и здесь мы



ливать больших объемов газа. Использование на одном полигоне нескольких небольших установок для сжигания газа имеют много преимуществ. Однако независимо от того, какое количество газа придется сжигать, нам нужно применить систему газоочистки и уменьшения зольности и вредных соединений... И сколько газа мы будем получать и утилизировать, мы должны понимать еще на стадии проектирования полигона. Так, один из наших полигонов, где используется три факела для сжигания свалочного газа, производит 5 тысяч кубометров в час, где среднее содержание метана – порядка 50 процентов (2500 тысяч кубометров). Один кубический метр метана это 10 кВт тепловой энергии. То есть 25 мегаватт тепловой мощности. Ее можно использовать в барабанной печи, и таким образом мы получим в замкнутой системе ее использование на очистку и испарение. Несколько установок, способных работать таким образом, Московская область готова заказать и приобрести хоть прямо сейчас. Вопрос только в проектировании и изготовлении такого оборудования. Мы готовы задать параметры и обсудить его проектирование с вашими сотрудниками. Необходимым условием такой работы должны стать экологические расчеты, включающие и энергопотребление, и температурные режимы, и минимизацию выбросов в окружающую среду.

– Замкнутым циклом, по сути, может считаться только та система, которая не оставляет после себя продукта (зола ли

это или что-то другое), который не может быть использован. Например, можно применять его в строительстве (конечно, четко понимая при этом, меняет ли он свойства стройматериала и его экологичность, и как именно меняет). Технологическая цепочка должна быть доведена до конца, – считает Павел Бида. – Таких готовых циклов у нас пока не создано, и это еще одно направление, в котором можно работать.

О том, как конкретно это сделать, рассказал Илья Островкин, обладающий обширными знаниями по теме.

– Технологии и алгоритмы построения таких циклов у нас есть, – добавил он. – У нас есть патент по обезвреживанию концентрата фильтрата. Есть технологии использования свалочного газа в барабанной печи, как мы уже упоминали. И отдельно нужно, конечно, работать над системой газоочистки, чтобы исключить вредные выбросы в окружающую среду – и опять-таки, продумывать утилизацию материала, который собирается на этих фильтрах в процессе очистки.

Разговор завершился на конструктивной ноте. Генеральный директор ПАО «Электромеханика» Виктор Константинов подтвердил, что предприятие готово участвовать в пилотных научно-экспериментальных и опытно-внедренческих проектах по созданию инновационных комплексов переработки отходов. Илья Островкин, как представитель экспертного совета по национальному проекту «Экология», заверил, что АНО «Институт

содействия развитию технологий переработки отходов» и ООО «СТРОЙИНЖ-СЕРВИС-2», непосредственно занятые в реализации нацпроекта, смогут обеспечить экспертную поддержку указанных инноваций и содействовать в привлечении профильных организаций и экспертов в совместное научно-техническое сотрудничество. Павел Бида предложил вынести вопрос на ближайшее заседание Секции по вопросам обращения с отходами в составе Научно-технического совета Министерства экологии и природопользования Московской области.

В настоящее время Московская область реализует сразу несколько крупных экологических проектов, цель которых – не просто избавиться от твердых бытовых отходов, побочного продукта цивилизации, но и превратить его во вторичное сырье. Для этого нужно строить и сортировочные, и мусороперерабатывающие заводы, которые должны включать линии для обезвреживания продуктов переработки. Это должно свести к минимуму потребность в полигонах для мусора. Наша страна нуждается в современной и технологичной системе мусоропереработки. А отрасль мусоропереработки, в свою очередь, остро нуждается в современном высокотехнологичном отечественном оборудовании, которое вполне могут проектировать и производить такие предприятия, как ржевское ПАО «Электромеханика».

БОЛЬШАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ МАЛОГО

В нашем журнале мы регулярно рассказываем о физкультурно-оздоровительном комплексе «Дельфин»: о спортивных мероприятиях и сотрудниках, о детских секциях и достижениях юных спортсменов, а также о планомерной работе по улучшению, проводимой по инициативе руководства ПАО «Электромеханика». В прошлом номере публикация была посвящена тому, какие преобразования были сделаны в период вынужденного простоя из-за ситуацией с COVID-19 и тех мерах, которые принимаются для обеспечения санитарно-эпидемических требований с учетом нынешней непростой ситуации. Сегодня «Дельфин» работает, однако ремонтные работы продолжаются. На этот раз руководство решило полностью реконструировать малый бассейн, предназначенный для обучения плаванию самых маленьких.



Открытие бассейна, 1990 г.

ребенка плавать» уже были открыты и получили большую популярность в городе, и поэтому как только будет реконструирован детский бассейн, занятия возобновятся. Дипломированный инструктор Татьяна Малинкина с нетерпением ждет своих маленьких пловцов. И это случится уже совсем скоро.

Причем после реконструкции заниматься в новом бассейне будет гораздо более удобно, приятно и безопасно.

Помещение малого бассейна после ремонта не узнать. И дело даже не в косметических изменениях. Во-первых, полностью реконструирована система вентиляции. Раньше, при старой системе, влажность держалась во всех помещениях, ощущалась в воздухе и становилась причиной преждевременной порчи стен, потолков. Поэтому ее решено было полностью заменить.

Ф

раза «Плавать раньше, чем ходить» стала широко известной еще в конце прошлого века благодаря одноименной ме-

тодике. В «Дельфине» предлагают учить детей держаться на воде и правильно плавать раньше, чем те начнут ходить в школу – с трех-пяти лет. Такие группы «Научи



– Смонтирована принудительная приточно-вытяжная система. Вдоль окон проложены воздухозаборники, которые вытягивают влажный, с конденсатом, воздух из помещения. Вместо него поступает воздух с улицы, который подогревается до 35 градусов и подается вовнутрь, – поясняет руководитель проекта Артем Кочержук. – Все системы – и вентиляции, и водоочистки, – монтируются в полном соответствии со специально, именно для этого помещения, выполненной проектной документацией. Вода в бассейне вместе с новой системой очистки также составляет замкнутый контур, не имеющий ни-



чего общего с контуром большого бассейна – там своя система. Но в малом, поскольку он рассчитан на детей, требования к температурному и гигиеническому режиму еще выше, и исходя из этого и проектировалась.

Ванна бассейна тоже теперь совершенно другая, хотя и напоминает прежнюю по конфигурации. Заново устроена система гидроизоляции, поверхности оштукатурены и выложены плиткой. Если раньше вода забиралась и подавалась в форсунки, расположенные в дне бассейна, то теперь все устроено иначе.

– Когда подача и забор воды идет только в нижних слоях, это значит, что обновление и очистка воды происходит не полностью: все масляные загрязнения и мусор обычно собираются на поверхности, а ее-то как раз насосы и не забирают, – продолжает Кочержук. – Сейчас схема циркуляции воды другая: в правом бортике бассейна расположены специальные скиммеры, через которые идет забор воды именно из верхних слоев, плюс донный слив. А в левом бортике расположены подающие форсунки. И если в большом бассейне, где тоже задействован непрерывный цикл очистки, полное

обновление воды происходит каждые шесть часов, то здесь, в соответствии с проектными параметрами – каждые полчаса. Для этого установлены два насоса.

Вот так – все 56 кубометров воды обновляются дважды в час!

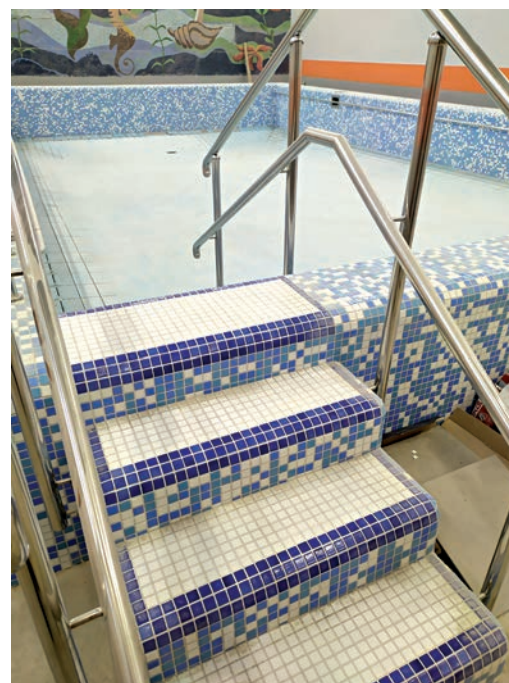
– Кроме этого, мы закупили еще один французский «пылесос» для очистки бассейна, – добавляет директор ФОКа Сергей Аладышев.

Кроме этого, добавляет Сергей Михайлович, реконструируются и санитарные помещения, душевые и раздевалки. Цель – увеличить вместимость помещений и добиться большего удобства для детей и их родителей. Ведь речь идет о малышковых группах пловцов, которым для того, чтобы помыться и переодеться, пока нужна помощь взрослых. И поэтому все раздевалки и душевые должны быть рассчитаны на удобное размещение двух-трех десятков человек одновременно (ведь когда одна группа уже одевается, другая только готовится к занятиям).

Когда этот номер журнала поступит к читателям, обновленный де-



тский бассейн ФОК «Дельфин» уже будет открыт для малышей. И будущие пловцы города Ржева получат свои первые уроки на воде в комфортных, удобных и безопасных условиях, которые обеспечили для них строители, заводчане и руководство комплекса.



ПАНФИЛОВ В.В., руководитель департамента защиты бизнеса Правого Центра «Человек и Закон»

НАКАЗАНИЕ БЕЗ ПРЕСТУПЛЕНИЯ

Вы скажете, что так не бывает, что мы можем нести ответственность только за конкретные действия, нашедшие отражение в объективном мире. Несомненно, это так. И наша позиция аналогична. Не может быть наказания без совершенного преступления или правонарушения. Но правоохранительная практика выдает парадоксы, которые мы готовы обсудить сегодня на страницах нашего журнала¹.

Сергей мучительно приходил в себя. Сознание никак не могло разделить фантазию и действительность. Каменный мешок. Где-то под толчком тускло тлела замурованная в стену лампочка. Узкий проход от стены до двухъярусной железной кровати с матрасом неопределенного цвета. Прикрученный к полу столик и два табурета. Дверь из металла с большими круглыми наклейками дополняла удручающую картину бытия. Он еще осторожно потрогал стену. Она была шершавой и напоминала бетонную шубу. За свои 38 лет он впервые попал в изолятор временного содержания и вообще впервые, не считая паспортного стола, столкнулся с полицией или, как ранее ее называли, милицией.

Ухватив голову двумя руками, он сидел, медленно качаясь из стороны в сторону. Ныла шея, на запястьях появились синие подтеки. Каждый вдох давался с трудом, Он потрогал ребра и ощутил надсадную боль. Потом еще чуть надавил, боль пронзила тело, но перелома не ощутил. Весь вчерашний день прошел в туманной реальности. Утром, когда он на своем автомобиле пытался выехать из двора дома, на него напали неизвестные люди. Внезапно перед капотом возник микроавтобус. Не-

¹ История, на примере которой раскрываются особенности квалификации состава преступления в уголовном законодательстве Российской Федерации имеет место быть в реальности и адвокат Правого центра «Человек и Закон» оказывает обвиняемому соответствующую юридическую помощь.

сколько человек, истошно воюя, кинулись к его машине. Двое из них, буквально распахнув водительскую дверь, выдернули его из салона. При этом он, приземлился прямо на мокрый асфальт распластав руки, но ненадолго: два пинка по ребрам – и руки сами прижались к телу. Кто-то, грузно усевшись на спину, завернул руки и надел наручники. Потом его доволокли до микроавтобуса, согнули пополам, затолкали в салон и куда-то повезли.

Остановимся на общих принципах подхода в оценке ситуации, имеющей признаки преступления. Эти действия (преступные) составляют единое целое и в юриспруденции и, в частности, в уголовном праве России, имеют четкое понятие «состав преступления», куда входят объект преступления, объективная сторона, субъект и субъективная сторона, то есть это совокупность определенных действий субъекта, квалифицируемых уголовным законом как преступление, а также отношение самого субъекта к этим действиям.

Для правильного восприятия позиции защиты мы все же остановимся на детальном комментировании понятий, входящих в смысловую группу «состав преступления». Итак, что такое объект преступления? Уголовный кодекс РФ (далее УК РФ) в статье 2 содержит перечень наиболее значимых общественных отношений, охраняемых от преступных посягательств, к их числу относятся «охрана прав и свобод человека и гражданина, собственности,

Правовой Центр
ЧЕЛОВЕК И ЗАКОН
ПАО «Электромеханика»
является партнером ПЦ «Человек и Закон»
и находится под его ПРАВОВОЙ ЗАЩИТОЙ
40
8(495)646-06-97
order@chelovekizakon.ru
www.chelovekizakon.ru

общественного порядка и общественной безопасности, окружающей среды, конституционного строя Российской Федерации, обеспечение мира и безопасности человечества, а также предупреждение преступлений».

В части 2 статьи 2 УК РФ «устанавливает основание и принципы уголовной ответственности, определяет, какие опасные для личности, общества или государства деяния признаются преступлениями, и устанавливает виды наказаний и иные меры уголовно-правового характера за совершение преступлений». Объект преступления, как общественные отношения, не имеет конкретной материальной формы. Он недоступен для непосредственного воздействия и может быть определен только по вреду, причиняемому объекту не путем нарушения общественного отношения как такового, а путем повреждения или уничтожения его элементов. Особенности конкретного преступления определяют механизм воздействия на объект. Так, при краже или хищении разрывается связь между собственником и его имуществом. В случае убийства или причинения телесных повреждений нарушается право на жизнь, право на здоровье и неприкосновенность личности. Из сказанного следует, что объект преступления – важнейший признак состава преступления, описание которого содержится в диспозиции статей особенной части УК РФ. Иные общественные отношения, когда

имеются основания полагать об их нарушении, относятся к иным отраслям права (трудовое, семейное, административное, гражданское и др.) и охраняются иными, отличными от уголовного права, методами и способами.

Так, сгорбившись в безмолвии, которое нарушалось иногда бряцаньем металла о металл, они ехали минут двадцать. Вновь согнув его пополам так, что он видел только свои ботинки и черные берцы спутников, они завели в задние, потом, сняв наручники, оставили одного в железной клетке. Он был ошарашен. Воля парализована от такого натиска и не единой мысли в голове. К тому же, сказывалось обильное возлияние вчерашнего вечера, проведенного с недавно возникшим в его поле внимания товарищем по имени Антон. В тот вечер разрешилась одна давнишняя история. Сейчас он и не мог предположить, что это все звенья одной цепи неудач и разочарований. Через некоторое время его привели в кабинет. Незнакомый мужчина назвался следователем, давал подписать какие-то бумажки. Долго ухмылялся, перебирая листки в толстой папке. Потом что-то писал, задавал вопросы. Как-то странно все крутилось вокруг одной темы – его взаимоотношениях с давнишним другом и бизнес-партнером Семеном. От него требовалось подтвердить знакомство с ним, рассказать о взаимоотношениях, общем бизнесе и финансах. Сергей говорил все, ничего не скрывая и не приукрашивая. Но до него никак не доходило, что его бесцеремонное задержание и доставление в неизвестное заведение и Семен – это одна нить событий.

Если коротко, то они с Семеном разошлись около года назад. И причиной стал банальный конфликт двух собственников. Семен, по какой причине неизвестно – от жадности, зависти или долга пере кем-то, снял со счетов их общей компании около 15 млн. рублей. Много или мало для провинциального городка, кому как? Но Сергею до глубины души было обидно, когда вдруг, в одночасье, он лишился друга, денег и бизнеса. Друг предал их отношения, сложившиеся еще в школе. Денег на продолжение закупок не стало. Соответственно, через месяц начали уходить работники, потом появились долги по аренде, потом перестали звонить поставщики и отключи-

ли телефоны покупателя. В общем, крах оказался ближе, чем нам порой кажется. Семен от встреч уклонялся и возвращать деньги, как стало уже понятно, не собирался. Так все это продолжалось в течение года.

И сейчас Сергей, сидя в каменном мешке, после целого дня мучительных расспросов, пытался найти логику событий.

Второй по смыслу элемент состава преступления – объективная сторона, имеющая в своем содержании юридически значимые признаки, к которым относятся:

- ▶ общественно опасное действие (бездействие), представляющее противоправные, осознанные, волевые, сложные по характеру манипуляции или бездействия, выраженные в объективной реальности, нарушающие или создающие реальную угрозу нарушения общественных отношений, взятых под охрану Уголовным кодексом;
- ▶ преступное последствие – это вред, имеющий материальный или нематериальный вид. В свою очередь, материальный вред объединяют два вида последствий: а) имущественный вред; б) физический вред. Имущественный вред может проявляться как в виде реального ущерба, так и упущенной выгоды, в основном характерен для преступлений в сфере экономики. Физический вред – это вред, причиняемый в результате совершения общественно опасного действия или бездействия жизни или здоровью человека. Он охватывает смерть потерпевшего, небольшой, средней тяжести и тяжкий вред здоровью. Нематериальный вред имеет две категории: первая – личностный характер и вторая – не относящаяся к личности. К первому виду относится моральный вред, а также вред, причиняемый конституционным правам и свободам граждан. Второй вид рассматриваемых последствий не относится к личности и представляет собой идеологический, политический, организационный вред.
- ▶ причинная связь между действием (бездействием) и преступным последствием. При этом причинная связь выступает как ряд реально существующих обстоятельств, кото-

рые позволяют однозначно прийти к выводу (констатировать), что причиной наступивших последствий является общественно опасное действие (бездействие). О причине можно говорить только тогда, когда имеется результат, а пока его нет, ничто не может быть названо причиной. Кроме этого объективная сторона преступного деяния имеет факультативные признаки, такие, как способ, место совершения, время совершения, орудия и средства, использованные в целях достижения результата, обстановка совершения преступления. Мы не зря подробно остановились на объективной стороне преступления, и, в частности, на причинно-следственной связи, т.к. в нашем повествовании она будет играть решающую роль.

Ночь на новом месте назвать кошмаром нельзя. Это был не кошмар, а пытка. Иногда блеском проявлял себя глазок в центре двери, кто-то заглядывал в камеру и пристально изучал одним глазом обстановку. Сон приходил обрывками, еще недавняя домашняя обстановка уже казалась фантастикой, явь перемешалась с шорохами и топотом сапогов в коридоре. Потом дверь с грохотом открылась и к нему в камеру завели человека. Невысокий, юркий человек сел на прикрученный к полу табурет и уставился на Сергея. Назвался Юрой. Разговор не клеился. Да и о чем было говорить? Человек забрался на второй ярус кровати и, немного покрутившись, мирно заснул. Сергей тоже забылся тяжёлым сном.

Утро. Открылось квадратное окно в двери – кормушка. Рука протянула алюминиевую тарелку с непонятным содержанием. Кусок хлеба и ложка. Сергей взял все это добро и шагнул к столику. Ночной сосед юркнул тоже к кормушке и получил свою порцию. Не глядя друг на друга, они молча жевали непривлекательную еду. Наступило какое-то подобие сытости. Юра протянул пачку сигарет. Курить совсем не хотелось, но Сергей машинально взял сигарету. Дым обжог легкие, снова закружилась голова и, согнувшись, скрутившись как червяк, он закашлял. Медленно разогнувшись, поведал Юре, что вчера чуть не отдал богу душу, как его задерживали,

как доставляли и допрашивали. На вопрос, за что такая немилость, ответить не мог, так как на самом деле ничего еще не понимал. Минут через тридцать защелкал в двери ключ и назвали его фамилию. Шагнувшего за дверь Сергея уперли лицом в стену и сзади вновь защелкнулись наручники. Потом некто взял под руку и повел по тускло освещенному коридору вдоль серых железных дверей.

Кто такой субъект преступления? В соответствии с законодательством РФ субъектом преступления считается физическое лицо, совершившее противоправное, общественно опасное деяние, вменяемое и способное нести за свои противоправные действия наказание, предусмотренное уголовным кодексом. Субъектами преступления являются исполнитель, совершавший действия в рамках его объективной стороны, соучастник, играющий роль организатора, подстрекателя или пособника, а также лица, чья преступная деятельность прервана на стадии приготовления или покушения.

Уголовный закон устанавливает несколько минимальных возрастных границ уголовной ответственности: пониженная с 14 лет, общая с 16 лет; и с 18 лет и более.

Следующий аспект субъекта преступления – его вменяемость. Закон этот признак указывает как противоположный невменяемости, т.е. неспособности человека, в силу психического состояния, отдавать себе отчет, руководить своими действиями и правильно их воспринимать (в соответствии с принятыми в обществе нормами поведения, запретами или дозволениями).

При этом статья 22 УК РФ предусматривает уголовную ответственность лиц, которые во время совершения преступления в силу психического расстройства не могли в полной мере осознавать фактический характер и общественную опасность своих действий (бездействия) либо руководить ими.

В практике данное обстоятельство именуется как ограниченная вменяемость. Согласно ст. 23 УК лицо, совершившее преступление в состоянии опьянения (употребление алкоголя, наркотических средств или других психотропных веществ), подлежит уголовной ответственности.

Законодатель выделяет три специ-



альных признака субъекта.

Первый, исходя из рода занятий, в частности, признак – занятие служебного положения (занятие должности с управленческими-распорядительными функциями в государственной или коммерческой организации). Отдельный специальный субъект – военнослужащий и некоторые другие служащие, приравненные к этому статусу субъекты. К специальным субъектам относятся и лица, в обязанности которых входит в силу профессии совершение определенных действий (соблюдение правил техники безопасности и иных правил охраны труда (ст. 143 УК), правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного, воздушного, морского и внутреннего водного транспорта, метрополитена др.).

Вторая группа имеет признаки, исходя из пола (ст. 131 УК), возраста (ст. ст. 134, 135, 150, 151 УК), наличия венерического заболевания (ст. 121 УК) или ВИЧ-инфекции (ст. 122 УК), состояния аффекта (ст. ст. 107, 113 УК), наличие не погашенной судимости (рецидив) и др.

Свойства третьей группы определяются отношением виновного к потерпевшему, имеется его социальный статус – родитель, педагог, иное лицо, на которого возложены обязанности по воспитанию несовершеннолетнего (ч. 2 ст. 150, ч. 2 ст. 151 УК); лицо, уклоняющееся от уплаты средств на содержание нетрудоспособных родителей (ч. 2 ст. 157 УК); лицо, которому вверено имущество потерпевшего (ст. 160 УК); лицо, обязанное заботиться о

находящемся в опасности беспомощном состоянии.

Его вновь привели к следователю. До Сергея стало внезапно доходить, что в его судьбе происходит что-то из ряда вон выходящее, что-то такое, что бесповоротно и, возможно, навсегда поделит его жизнь до и после. Сергей никогда не отличался твердостью характера и железной волей. Жизнь просто несла по течению, и это его вполне устроило. Но, видимо, так устроен инстинкт самосохранения человека, что в критические моменты бытия внезапно внутри, где-то глубоко в сознании, возникает неведомая сила. Она удесно теряет скорость мысли, до озноба наполняет организм адреналиновым отчаянием и открывает глаза.

В мозгу Сергея начали вспыхивать вчерашние фразы, обороты, намеки следователя. Пробираясь сквозь туман намеков, он все отчетливее начинал понимать, что его обвиняют в совершении какого-то очень тяжкого преступления, и все это связано с его бывшим другом Семеном.

Сергей заявил, что хочет, чтобы при разговоре присутствовал адвокат. Следователь не возражал, и в кабинет зашел мужчина, представившийся Дмитрием Владимировичем. Наконец до Сергея дошла суть претензий и обвинения. Оказывается, он являлся заказчиком убийства бывшего друга Семена. Но сейчас следствие переквалифицировало его действия на заказ причинения Семену тяжких телесных повреждений.

В подтверждение этого ему показа-

ли фотографии, где Семен лежал возле своей машины со сломанными ногами. Потом появилась справка из больницы, показания шапочного знакомого Антона. Впрочем, Антону во всей этой безрадостной картине отводилась особая роль. Эти фотографии он уже показывал Сергею дней за пять до задержания и требовал деньги за выполненный заказ. Сергей непонимающе отказывался, но Антон все дни до ареста настойчиво, с манией преследователя то звонил Сергею, то караулил у дома, и все настырнее и уже с угрозами усиливал или избияния требовал деньги за выполненный заказ по нанесению увечий Семену. Но Сергей ничего ему не заказывал – ни убийства, ни причинения вреда здоровью Семена, ни других каких-либо действий в отношении него. Но, по версии Антона, все было по другому и получалось, что Сергей дал ему задание и пообещал оплату, если он причинит Семену физические страдания за то, что он забрал их общие деньги. И чтобы как-то решить раз и навсегда этот вопрос, чтобы, наконец, Антон от него отстал, Сергей вечером перед задержанием, передал Антону 50 тысяч рублей. И сейчас все ясвеннее стал понимать, что, действительно, из обманутого «страдальца», кинутого на деньги, превратился в преступного монстра, кровожадного мстителя – субъекта преступления (заказчика причинения телесных повреждений).

Рассмотрим оставшийся – четвертый признак преступления, его субъективную сторону. Субъективная сторона преступления представляет собой мысленную конструкцию в сознании субъекта преступления, – подчеркиваем, что именно в сознании лица, совершившего преступление, – определяющую его отношение к совершенному общественно опасному деянию (объективная сторона преступления и объект преступления), обусловленную виной, мотивом, целью и эмоциями.

Вина, являясь психологической категорией, выступает в двухкомпонентном качестве в виде умысла и неосторожности.

В свою очередь, умысел может быть прямым, когда субъект преступления осознает общественную опасность своих действий (бездействия), предвидит возможность или неизбежность наступления общественно опасных последствий и желает их наступления. И второй аспект

– косвенный умысел, когда субъект осознает общественную опасность своих действий (бездействия), предвидит возможность наступления общественно опасных последствий, не желает, но сознательно допускает эти последствия либо относится к ним безразлично.

Неосторожность охватывается такими категориями как легкомыслие или небрежность. Преступление признается совершенным по легкомыслию, если субъект предвидел возможность наступления общественно опасных последствий своих действий (бездействия), но без достаточных к тому оснований самонадеянно рассчитывал на предотвращение этих последствий.

Преступление признается совершенным по небрежности, если субъект не предвидел возможности наступления общественно опасных последствий своих действий (бездействия), хотя при необходимой внимательности и предусмотрительности должен был и мог предвидеть эти последствия.

Факультативными или дополнительными признаками вины является мотив, как побуждение, вызывающее решимость совершить преступление; цель преступления как представление о желаемом результате, к достижению которого стремится субъект, совершающий преступление; эмоциональное состояние как внутренний фон, в котором проявляются интеллектуально-волевые качества психики субъекта, совершающего общественно опасное деяние.

Субъективная сторона – важнейший элемент состава преступления. Точное установление всех ее признаков является необходимым условием правильной квалификации общественно опасного деяния, позволяет разграничить преступления, сходные по объективным признакам.

Анализ субъективной стороны в процессе защиты обвиняемого позволяет четко отделить общественно опасное деяние, влекущее уголовную ответственность, от не преступного поведения, хотя и такое действие причинило вред охраняемым общественным отношениям², определяет

² Статья 37. УК РФ Необходимая оборона. (в ред. Федерального закона от 14.03.2002 № 29-ФЗ). Часть 1. Не является преступлением причинение вреда посягающему лицу в состоянии необходимой обороны, то есть при защите личности и прав обороняющегося или других лиц, охраняемых законом интересов общества или государства от общественно опасного по-

ступления, что влияет на дифференциацию и индивидуализацию наказания.

Теперь, когда нами исследованы все признаки преступления, вернемся к нашим героям.

Адвокат попросил следователя оставить их наедине. И о ужас! Вся картина сегодняшнего положения Сергея предстала в палитре черно-серых оттенков и обрела звук, подобный тысячи завывших сирен.

Адвокат рассказал, что случайный знакомый Антон – это вовсе не Антон, а сотрудник уголовного розыска, который выявил и задокументировал действия Сергея, направленные на причинение вреда здоровью Семену. При этом в деле имеются аудио- и видеозаписи разговоров и акт передачи денег в сумме 50 тыс. рублей. Кроме этого, там есть фотографии с отпечатками пальцев Сергея, которые он вертел в руках, когда Антон ему давал снимки, где запечатлен факт причинения телесных повреждений Семену. Даже была справка из больницы о том, что Семену оказывалась медицинская помощь.

Но... Всего этого не было на самом деле. А началось все месяца два назад, когда Антон случайно оказался в баре за одним столом с Сергеем. Под спиртное и закуску Сергей рассказал об истории с Семеном и в алкогольном отчаянии грозился отомстить ему всеми земными и небесными карами. Через несколько дней они вновь, как-бы случайно, встретились, и вновь все закончилось обильной выпивкой, сетованиями на уничтоженный бизнес и предательство друга. Сергей особого внимания тогда не обратил на предложение Антона за деньги устроить Семену неприятности.

Адвокат Дмитрий Владимирович уже разобрался в хитросплетениях предъявленного обвинения и продолжил повествование. Вторая встреча с Антоном не

сягательства, если это посягательство было сопряжено с насилием, опасным для жизни обороняющегося или другого лица, либо с непосредственной угрозой применения такого насилия.

Статья 39. УК РФ Крайняя необходимость. (в ред. Федерального закона от 14.03.2002 № 29-ФЗ). Часть 1. Не является преступлением причинение вреда охраняемым уголовным законом интересам в состоянии крайней необходимости, то есть для устранения опасности, непосредственно угрожающей личности и правам данного лица или иных лиц, охраняемых законом интересам общества или государства, если эта опасность не могла быть устранена иными средствами и при этом не было допущено превышения пределов крайней необходимости.

была случайностью, а в отношении него, Сергея, уже начались оперативно-розыскные мероприятия в рамках оперативного эксперимента³.

Дальше. Оперативники связались с Семеновом, нагнали ему страха о готовности Сергея сделать преступнику заказ на причинение ему увечий. Семенов поддался уговорам и сыграл роль жертвы. На фотографиях, корчась от якобы боли, он играл роль изувеченного человека. Кровь и сломанные ноги были частью постановочного сюжета, разыгранного с помощью театрального грима и других аксессуаров.

Потом якобы была больница, оказание первой помощи, длительная нетрудоспособность и т.д.

Спектакль удался, роли сыграны. Полиция реализовала материалы оперативного эксперимента, возбуждив уголовное дело по признакам п. «З», части 2 ст. 111 УК РФ (Умышленное причинение тяжкого вреда здоровью с применением оружия или предметов, используемых в качестве оружия) с учетом статьи 30⁴ УК РФ. Злодей

³ Часть 8, ст. 8 Федерального Закон от 12.08.1995 №144-ФЗ (ред. от 02.08.2019) "Об оперативно-розыскной деятельности" Проведение оперативного эксперимента допускается только в целях выявления, предупреждения, пресечения и раскрытия преступления средней тяжести, тяжкого или особо тяжкого преступления, а также в целях выявления и установления лиц, их подготавливающих, совершающих или совершивших. Оперативный эксперимент – ОРМ, состоит в негласном наблюдении и документировании поведения лица в искусственно созданных условиях с целью выявления его противоправной деятельности и получения доказательств.

Мероприятие представляет собой проверку имеющейся информации о готовящемся совершении преступления и является его моделью. Оперативный эксперимент может проводиться, например, с целью выявления систематических нарушений законодательства, захвата с поличным лиц при вручении, получении или вымогательстве взятки, изблечения лица, нанимающего киллера, и т. д. Соответственно исходя из целей, оперативный эксперимент проводится негласно или гласно.

⁴ Статья 30. Приготовление к преступлению и покушение на преступление УК РФ (в ред. Федерального закона от 14.03.2002 N 29-ФЗ). Часть 1. Приготовлением к преступлению признаются приискание, изготовление или приспособление лицом средств или орудий совершения преступления, приискание соучастников преступления,говор на совершение преступления либо иное умышленное создание условий для совершения преступления, если при этом преступление не было доведено до конца по не зависящим от этого лица обстоятельствам.

Часть 2. Уголовная ответственность наступает за приготовление только к тяжкому и особо тяжкому преступлениям.

Часть 3. Покушением на преступление признаются умышленные действия (бездействие) лица, непосредственно направленные на совершение преступления, если при этом преступление не было доведено до конца по не зависящим от этого лица обстоятельствам.

– Сергей задержан.

Тут он понял, почему его так жестоко принимал ОМОН – он же был заказчик тяжкого преступления. Потерпевший жив и здоров. Только в чем суть все этой канители? Или заниматься полиции больше нечем, как только пьяные разговоры документировать?

Сергей пытался возразить – он не давал никакого поручения Антону – ни устно, ни письменного и какого-то вообще. И он это четко помнит, просто не может не помнить. Потому что не обладает возведенными в гипертрофические формы желаний мести, крови, страданий или маниакальным желанием мести.

Все верно отметил адвокат. Прямой команды или указания с его, Сергея, стороны не было. Но, опять же но... На одной из негласных видеозаписей в процессе диалога Сергея с Антоном, после слов последнего о реальной мести Семену зафиксирован кивок головой Сергея и взмах руки, трактуемый как согласие со словами Антона. Адвокат пояснил, что есть так называемая конклюдентная форма проявления преступного действия, выражающая признак объективной стороны в виде жеста.

Это для Сергея был удар грома среди ясного неба. И что же делать? То есть получается, он, будучи не совсем трезвым, на вопрос Антона о мести просто кивнул и махнул рукой, дав ему тем самым согласие и так выразив свою волю на мечь?!. Да, это очень редко встречающаяся форма действия, но, к сожалению, задокументированная в процессе оперативного эксперимента. Но жертвы нет! Семенов жив и здоров и будет свидетелем обвинения. Это так.

Однако действия квалифицированы как покушение, т.е. не доведенные до конечного результата по причине, не зависящей от Сергея, а только в силу контроля за такими действиями со стороны полиции. Это звучит, как если бы на месте Антона был не оперативник, а иной человек, за деньгами готовый причинить Семену вред.

После беседы с адвокатом все встало на свои места. Сергей, хоть подавленный и расстроенный, вернулся в камеру с твердым намерением отстаивать свою невиновность.

Теперь им, Сергею и Дмитрию Владимировичу, предстояло выработать линию за-

щиты. Искать в действиях оперативников ошибки и нарушения процессуального закона и Закона об ОРД, ходатайствовать о проведении экспертиз и совершать другие законные действия по защите прав и интересов обвиняемого. Много вопросов к следствию есть в части определения формы вины Сергея, причинного ущерба и ряда других квалифицирующих признаков для ст. 111 УК РФ.

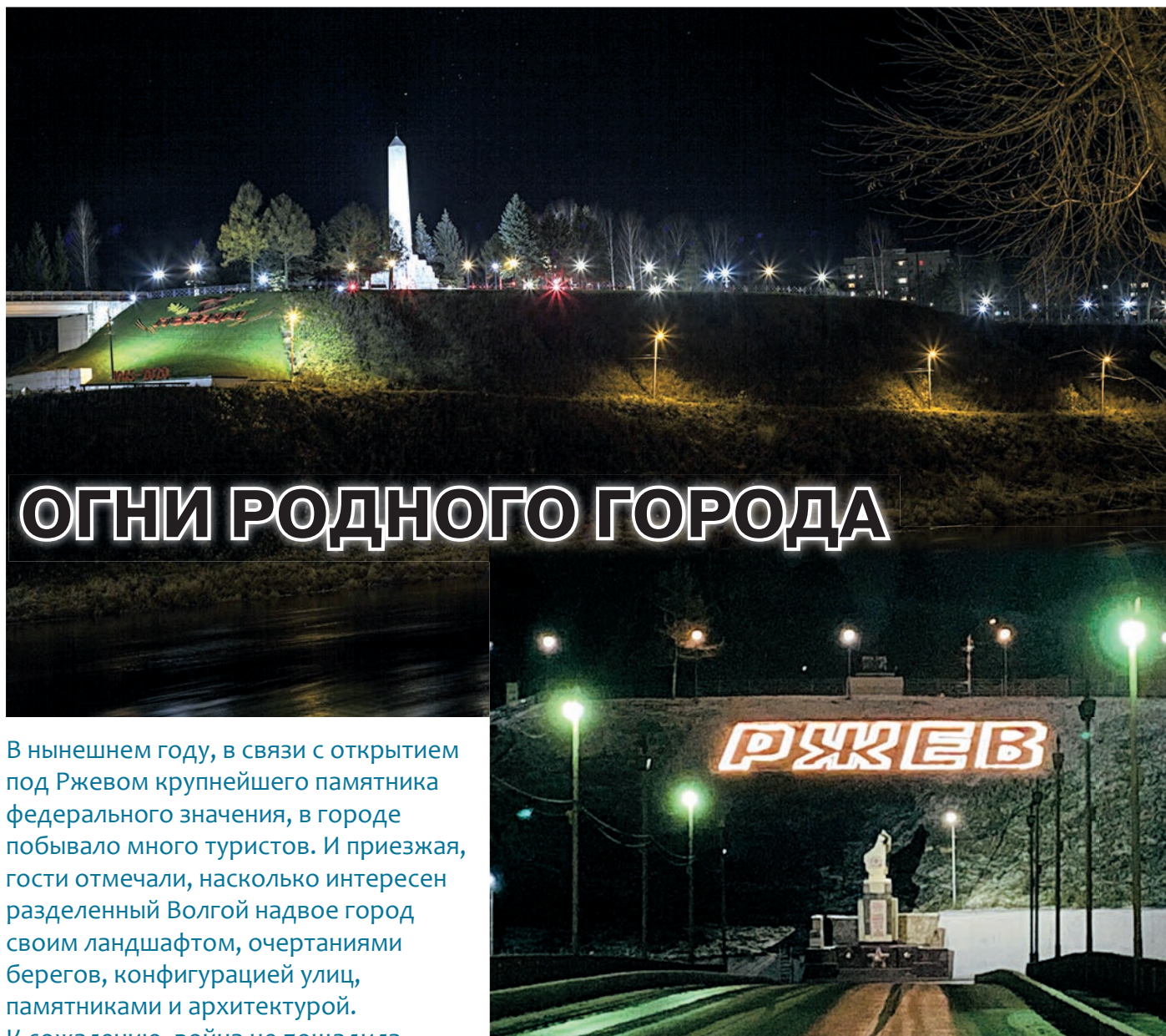
ВЫВОДЫ:

Подробно рассматривая данную нестандартную ситуацию, мы преследуем цель познакомить читателя с особенностями конструкции понятия преступления в российском законодательстве. Показать его признаки по отдельности и в совокупности. Определить правовой характер, на основе которого строится процесс обвинения в совершении уголовного преступления. При этом отсутствие одного, части или группы признаков состава преступления, выявленных защитой на любой стадии уголовного процесса, ведет к освобождению лица (подозреваемого, обвиняемого, подсудимого, а в отдельных случаях в кассационной или надзорной инстанциях и осужденного) от уголовного преследования.

Отдельно можно говорить о виктимности⁵ поведения. Но здесь мы акцентируем внимание на не классическом понимании жертвы преступления, а поведении ином, когда может возникнуть ситуация попадания с силу своего поведения в оперативную разработку правоохранительных органов. И, конечно, нужно помнить, что вопросы профилактики преступности из задач полиции никто не вычеркивал.

⁵ Виктимность (от лат. victima – жертва) – склонность становиться жертвой преступления. Это устойчивое свойство личности быть жертвой обстоятельств, преступлений чаще чем другие люди или в тех условиях, которые для большинства являются нейтральными. Общая психология: слов. / под ред. А. В. Петровского. – М.: Пер Се; СПб.: Речь, 2005. – 250 с.; – (Психологический лексикон: энцикл. слов. в 6 т.).

В криминологии принято делить виктимное поведение на три вида – неосторожное, рискованное или объективно опасное для потерпевшего. В нашем случае понятие потерпевшего следует отделять от потерпевшего от самого совершенного преступления, или потерпевшего в результате факта привлечения к уголовной ответственности за преступление без материальных последствий. Во многих случаях преступник первоначально не имеет желания убивать или калечить другого человека, но поведение этого человека (часто случайного прохожего) воспринимается им как заведомо опасное.



ОГНИ РОДНОГО ГОРОДА

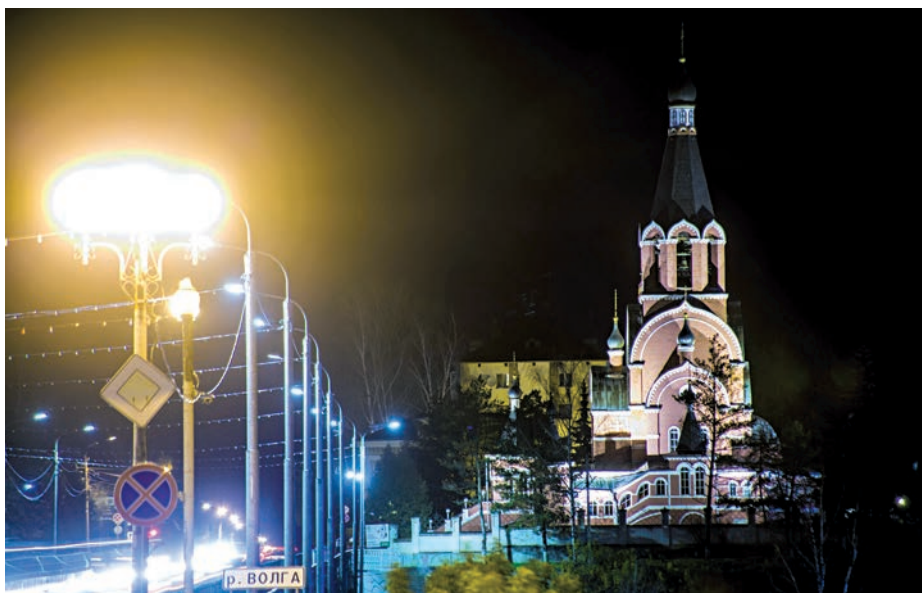
В нынешнем году, в связи с открытием под Ржевом крупнейшего памятника федерального значения, в городе побывало много туристов. И приезжая, гости отмечали, насколько интересен разделенный Волгой надвое город своим ландшафтом, очертаниями берегов, конфигурацией улиц, памятниками и архитектурой. К сожалению, война не пощадила большей части строений, и то, каким был Ржев до 1941 года, теперь угадывается только по нескольким из них. К чести архитекторов и строителей, ряд послевоенных построек тоже весьма привлекательны и стилистически выдержанны, поэтому являются украшением города. Но совершенно необычайное и, пожалуй, более сильное впечатление они производят в темное время суток благодаря грамотно созданной подсветке, которая была сделана силами и средствами нашего предприятия.

С самого первого номера нашего журнала мы пишем о социальных инициативах заводчан. На «Электромеханике» считается совершенно правильным и логичным вносить

свой вклад в вопросы благоустройства и решение насущных проблем города, где расположено предприятие, где живут его работники и растут их дети. Мы рассказывали о пешеходном мосте, кото-

рый построил завод к своему 80-летию, о реконструкции водопропускной трубы и оживленной дороги над ней, связывающей два микрорайона, о часовнях и храмах, построенных при участии «Электромеханики», о сделанных и установленных предприятием детских и спортивных площадках во дворах и у школ... Темой сегодняшней публикации станет уличное освещение и подсветка строений и памятников, о чем тоже позаботилось ПАО «Электромеханика».

Здание бывшего Епархиального училища, на сегодняшний день возвращенное Ржевской Епархии, построено более полутора веков назад – в 1865 году.



Сегодня оно отреставрировано, зданию придан исторический облик, восстановлена даже колокольня Смоленской церкви, размещавшейся в Епархиальном училище. Кстати, купол на колокольне два года назад изготовила и установила именно «Электромеханика». А сегодня, также благодаря усилиям и вкладу заводчан, это красивейшее здание в темное время суток будто подсвечено изнутри благодаря специально смонтированной на кронштейнах подсветке.

Буквально в трех кварталах от этого места расположен Кафедральный собор Оковецкой иконы Божией Матери – белокаменное здание, которое видно издалека. Комплекс Оковецкой церкви (1818-1832 гг.), с колокольней (1830-1842 гг.), часовней и сторожкой (1864-1868 гг.), находится на Большой Спасской площади (ныне ул. Марата, 7) на правом берегу реки Волги. Является одним из лучших памятников архитектуры позднего классицизма, не только в Ржеве, но и в Тверской области. Построенный по проекту губернского архитектора Н.Н. Ленгранда, он до сих пор имеет важное градобразующее значение, определяя силуэт правобережной части Ржева, привлекая внимание ярким столичным колоритом. Это место – одно из любимых у ржевских и приезжих фотографов. И теперь здание запечатлено на фотографиях не только на фоне голубого неба и сочной зелени. На ночных снимках оно выглядит еще более интересно, контрастируя белыми округлыми очертаниями с темным фоном ночного города. Над тем, чтобы это осуществить, также потрудились «Электромеханика». Наше предприятие оборудовало подсветку храма Новомучеников и Исповедников Российских у самого въезда на основной мост через Волгу.

Сегодня гулять по центру ночного Ржева – значит не только не пропустить его самых живописных и интересных мест, но и увидеть привычные ракурсы и уже знакомые, казалось бы, уголки города, совершенно с иной стороны. Так, на площади Революции памятник, который раньше терялся в темноте, теперь рельефно выделяется и хорошо виден со всех трех примыкающих к перекрестку магистралей. Он освещен направленными прожекторами, которые установила на



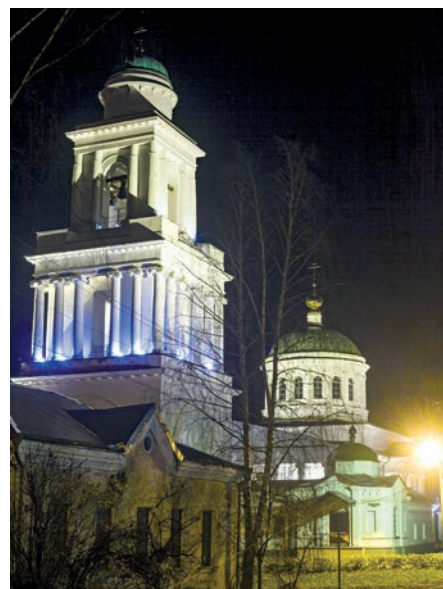
специальных опорах «Электромеханика».

Одновременно с уличным освещением на Советской площади включается подсветка стелы города Воинской славы, и кажется, что так было всегда – а на самом деле, еще 2-3 года назад памятник оставался в темноте. Точно так же подсвечена символизирующая освобождение Ржева от немецко-фашистских захватчиков стела у подножия моста на высоком Волжском берегу, и надпись «РЖЕВ» на склоне над нею.

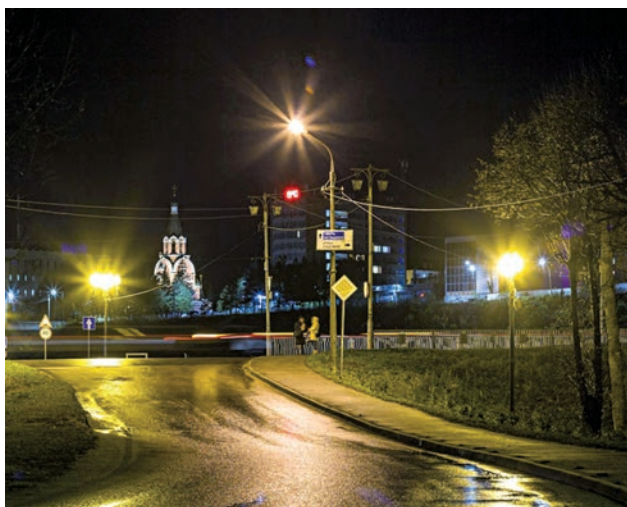
Вообще, эта часть набережной в последний год сильно преобразилась. Отремонтирована Аллея Героев, расчищен густо заросший деревьями склон – так, что теперь с другого берега хорошо видны пешеходные тропы и так называемые «взвозы» – дороги, по которым сто и больше лет назад возили с Волги воду. Отремонтирован обелиск Славы, а вокруг, на Соборной горе, благодаря областной программе создана парковая зона. А правее хорошо виден тот самый, прак-

тически заново построенный «Электромеханикой», новый пешеходный мост через приток Волги – речушку Холынку. И везде теперь есть новые современные фонари и подсветка. Примечательно, что в этой работе участвовала уже не только «Электромеханика». ООО «Инчермет», вместе с нашим заводом строившее дамбу и расчищавшее волжские берега, взяло на себя часть работ и здесь. Теперь благодаря этому предприятию освещены и пешеходные тропы, лестница и спуск с Банковской горы. Кроме того, «Инчермет» провел работы по монтажу подсветки стелы на въезде в Ржев с трассы Москва – Рига.

На противоположном берегу, который также теперь не узнать после проведенного комплексного благоустройства, даже сами новые световые опоры можно назвать достопримечательностью. Собственно, новыми в полном смысле слова они не являются. Когда четыре года назад ремонтировали новый мост через Волгу, в проекте были предусмотрены демон-



таж старых и установка новых световых опор на мосту. Старые планировалось утилизировать. Но генеральный директор «Электромеханики» Виктор Константинов не согласился с такой постановкой





вопроса. Опоры забрали на предприятие, провели пескоструйную обработку, отремонтировали, покрасили... Две из них остались стоять на мосту, украшая своим интересным дизайном въезд на него. Остальные теперь освещают Красноармейскую набережную на низком берегу Волги.

В нынешнем году предприятие продолжает подобную работу по замене световых опор и светильников в других микрорайонах города. Причем, оно берет на себя не только ремонт и установку столбов, но и подведение к ним электричества в соответствии с современными стандартами (подземные линии на смену воздушным).

Точечные работы проводятся у памятника «Танк Т-34» на площади Мира – вскоре и сам этот памятник станет хорошо освещенным, на Советской площади у памятника Ленину.

Мы несколько лет назад писали о масштабной работе, которую провело наше предприятие по возвращению на пьедестал памятника советским летчикам – МиГ-17. Установленный на высоком холме в долине реки Холынки, он является одной из доминант центральной части города Ржева. А через год после установки самолета наше предприятие провело работы по монтажу уличного освещения на этой территории, которая после установки там детской площадки и скамеек стала излюбленной прогулочной зоной жителей прилегающих домов.

Пожалуй, самым крупным проектом по монтажу уличного освещения нынешнего года стала улица Краностроителей. Ремонт дороги, который был намечен на этот год и осуществлен летом, не предусматривал установки световых опор и светильников. Но в ходе ремонта по обе



стороны дороги был заложен тротуар, а имеющегося на этом отрезке освещения было явно недостаточно. И заводчане решили восполнить пробел своими силами. Теперь там горят новые светодиодные лампы, установленные на новых столбах, которые тоже были изготовлены на ПАО «Электромеханика».

Аналогичные работы продолжаются и сегодня. Так, улица Партизанская, жители которой часто жаловались на недостаток освещения, также вскоре осветится новыми энергосберегающими лампами. Сейчас предприятие ведет изготовление специальных кронштейнов для установки ламп. Предприятие участвует также в освещении Торопецкого тракта, где имеющихся опор и фонарей явно недостаточно. И заводчане готовы продолжать делать все от них зависящее, чтобы родной город засиял огнями еще ярче.



ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КАЛЕНДАРЬ на 2021 год

I квартал

| Январь | | | | | | |
|--------|----|----|----|----|----|----|
| пн | вт | ср | чт | пт | сб | вс |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 1 | 2 | 3 |
| 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |

| Февраль | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|-----|----|
| пн | вт | ср | чт | пт | сб | вс |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20* | 21 |
| 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |

| Март | | | | | | |
|------|----|----|----|----|----|----|
| пн | вт | ср | чт | пт | сб | вс |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 29 | 30 | 31 | 1 | 2 | 3 | 4 |

| | |
|-------------------------------------|-------|
| Количество дней | |
| Календарных | 90 |
| Рабочих | 56 |
| Выходных | 34 |
| Рабочих часов при 40-часовой неделе | 447 |
| 36-часовой неделе | 402,2 |

| | |
|-------------------------------------|-----|
| Количество дней | |
| Календарных | 31 |
| Рабочих | 15 |
| Выходных | 16 |
| Рабочих часов при 40-часовой неделе | 120 |
| 36-часовой неделе | 108 |

| | |
|-------------------------------------|-------|
| Количество дней | |
| Календарных | 28 |
| Рабочих | 19 |
| Выходных | 9 |
| Рабочих часов при 40-часовой неделе | 151 |
| 36-часовой неделе | 135,8 |

| | |
|-------------------------------------|-------|
| Количество дней | |
| Календарных | 31 |
| Рабочих | 22 |
| Выходных | 9 |
| Рабочих часов при 40-часовой неделе | 176 |
| 36-часовой неделе | 158,4 |

II квартал

| Апрель | | | | | | |
|--------|----|----|----|-----|----|----|
| пн | вт | ср | чт | пт | сб | вс |
| 29 | 30 | 31 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| 26 | 27 | 28 | 29 | 30* | 1 | 2 |

| Май | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|
| пн | вт | ср | чт | пт | сб | вс |
| 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1 | 2 |
| 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| 31 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

| Июнь | | | | | | |
|------|----|----|----|-----|----|----|
| пн | вт | ср | чт | пт | сб | вс |
| 31 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11* | 12 | 13 |
| 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 1 | 2 | 3 | 4 |

| | |
|-------------------------------------|-------|
| Количество дней | |
| Календарных | 91 |
| Рабочих | 62 |
| Выходных | 29 |
| Рабочих часов при 40-часовой неделе | 494 |
| 36-часовой неделе | 444,4 |

| | |
|-------------------------------------|-------|
| Количество дней | |
| Календарных | 30 |
| Рабочих | 22 |
| Выходных | 8 |
| Рабочих часов при 40-часовой неделе | 175 |
| 36-часовой неделе | 157,4 |

| | |
|-------------------------------------|-------|
| Количество дней | |
| Календарных | 31 |
| Рабочих | 19 |
| Выходных | 12 |
| Рабочих часов при 40-часовой неделе | 152 |
| 36-часовой неделе | 136,8 |

| | |
|-------------------------------------|-------|
| Количество дней | |
| Календарных | 30 |
| Рабочих | 21 |
| Выходных | 9 |
| Рабочих часов при 40-часовой неделе | 167 |
| 36-часовой неделе | 150,2 |

III квартал

| Июль | | | | | | |
|------|----|----|----|----|----|----|
| пн | вт | ср | чт | пт | сб | вс |
| 28 | 29 | 30 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 1 |

| Август | | | | | | |
|--------|----|----|----|----|----|----|
| пн | вт | ср | чт | пт | сб | вс |
| 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 1 |
| 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| 30 | 31 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

| Сентябрь | | | | | | |
|----------|----|----|----|----|----|----|
| пн | вт | ср | чт | пт | сб | вс |
| 30 | 31 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| 27 | 28 | 29 | 30 | 1 | 2 | 3 |

| | |
|-------------------------------------|-------|
| Количество дней | |
| Календарных | 92 |
| Рабочих | 66 |
| Выходных | 26 |
| Рабочих часов при 40-часовой неделе | 528 |
| 36-часовой неделе | 475,2 |

| | |
|-------------------------------------|-------|
| Количество дней | |
| Календарных | 31 |
| Рабочих | 22 |
| Выходных | 9 |
| Рабочих часов при 40-часовой неделе | 176 |
| 36-часовой неделе | 158,4 |

| | |
|-------------------------------------|-------|
| Количество дней | |
| Календарных | 31 |
| Рабочих | 22 |
| Выходных | 9 |
| Рабочих часов при 40-часовой неделе | 176 |
| 36-часовой неделе | 158,4 |

| | |
|-------------------------------------|-------|
| Количество дней | |
| Календарных | 30 |
| Рабочих | 22 |
| Выходных | 8 |
| Рабочих часов при 40-часовой неделе | 176 |
| 36-часовой неделе | 158,4 |

IV квартал

| Октябрь | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|----|----|
| пн | вт | ср | чт | пт | сб | вс |
| 27 | 28 | 29 | 30 | 1 | 2 | 3 |
| 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |

| Ноябрь | | | | | | |
|--------|----|----|----|----|----|----|
| пн | вт | ср | чт | пт | сб | вс |
| 1 | 2 | 3* | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 29 | 30 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

| Декабрь | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|----|----|
| пн | вт | ср | чт | пт | сб | вс |
| 29 | 30 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 1 | 2 |

| | |
|-------------------------------------|-------|
| Количество дней | |
| Календарных | 92 |
| Рабочих | 63 |
| Выходных | 29 |
| Рабочих часов при 40-часовой неделе | 503 |
| 36-часовой неделе | 452,6 |

| | |
|-------------------------------------|-------|
| Количество дней | |
| Календарных | 31 |
| Рабочих | 21 |
| Выходных | 10 |
| Рабочих часов при 40-часовой неделе | 168 |
| 36-часовой неделе | 151,2 |

| | |
|-------------------------------------|-----|
| Количество дней | |
| Календарных | 30 |
| Рабочих | 20 |
| Выходных | 10 |
| Рабочих часов при 40-часовой неделе | 159 |
| 36-часовой неделе | 143 |

| | |
|-------------------------------------|-------|
| Количество дней | |
| Календарных | 31 |
| Рабочих | 22 |
| Выходных | 9 |
| Рабочих часов при 40-часовой неделе | 176 |
| 36-часовой неделе | 158,4 |