



ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ – ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ

*Сборник статей по материалам
LV международной научно-практической конференции*

№ 2 (50)
Февраль 2016 г.

Издается с октября 2011 года

Новосибирск
2016

УДК 62
ББК 30
Т 38

Ответственный редактор: Васинович М.А.

Председатель редакционной коллегии:

Ахметов Сайранбек Махсutowич – д-р техн. наук, проф., ректор Казахстанского университета инновационных и телекоммуникационных систем (КазУИТС), академик РАЕН, действительный член (академик) Национальной инженерной академии Республики Казахстан, заместитель председателя Западно-Казахстанского филиала НИА РК, директор Представительства Казахской академии экологии и безопасности жизнедеятельности» в г. Уральск.

Редакционная коллегия:

Ахмеднабиев Расул Магомедович – канд. техн. наук, доц. Полтавского национального технического университета им. Ю. Кондратюка;

Елисеев Дмитрий Викторович – канд. техн. наук, доцент, бизнес-консультант Академии менеджмента и рынка, ведущий консультант по стратегии и бизнес-процессам, «Консалтинговая фирма «Партнеры и Боровков»;

Копылов Алексей Филиппович – канд. техн. наук, доц. кафедры Радиотехники Института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета;

Максимов Сергей Павлович – канд. техн. наук, доцент, декан факультета техники и технологии филиал Южно-Уральского государственного университета в г. Златоусте.

Т 38 Технические науки – от теории к практике / Сб. ст. по материалам LV междунар. науч.-практ. конф. № 2 (50). Новосибирск: Изд. АНС «СибАК», 2016. 194 с.

Учредитель: АНС «СибАК»

Сборник статей «Технические науки – от теории к практике» включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

При перепечатке материалов издания ссылка на сборник статей обязательна.

Оглавление

Секция «Аэрокосмическая техника и технологии»	8
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ СОЗДАНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ГОЛОВКИ ЗВЕЗДНОГО ДАТЧИКА Елубаев Сулеймен Актлеуович Альбазаров Бахытжан Шапагатович Тен Владимир Валентинович Шамро Александр Валентинович Сухенко Анна Сергеевна	8
ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ С СОЛНЕЧНЫМ ПАРУСОМ Поляхова Елена Николаевна Королев Владимир Степанович	18
Секция «Безопасность жизнедеятельности человека, промышленная безопасность, охрана труда и экология»	32
ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ЭТАПЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ Колобов Андрей Николаевич Колобов Николай Сергеевич Старостина Екатерина Александровна Пестов Александр Владимирович Кайсарова Евгения Анатольевна Кондрацкий Вадим Дмитриевич	32
ПЛАНИРОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЛОКАЛИЗАЦИИ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ Колобов Андрей Николаевич Колобов Николай Сергеевич Старостина Екатерина Александровна Пестов Александр Владимирович Кайсарова Евгения Анатольевна Кондрацкий Вадим Дмитриевич	37

Секция «Информатика, вычислительная техника и управление» 42

КОМПАКТНАЯ СИСТЕМА ОХРАНЫ И ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ НА БАЗЕ ОДНОПЛАТНОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО КОМПЬЮТЕРА 42
Валев Олег Владимирович

ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОННОЙ РАБОЧЕЙ ТЕТРАДИ 48
Гладышева Мария Михайловна
Артамонов Александр Андреевич
Мацко Елена Игоревна

Секция «Материаловедение и металлургическое оборудование и технологии» 55

СРАВНЕНИЕ СВОЙСТВ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПРЕСС-ФОРМ ЛИТЬЯ ПОД НИЗКИМ ДАВЛЕНИЕМ 55
Косович Александр Александрович
Гильманшина Татьяна Ренатовна
Богданова Татьяна Александровна
Партыко Евгений Геннадьевич

Секция «Машиностроение и машиноведение» 60

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ ПРОФИЛЯ ДОРОЖЕК КАЧЕНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА 60
Четвериков Борис Сергеевич
Дуганов Владимир Яковлевич
Архипова Надежда Алексеевна

ОПТИМИЗАЦИОННО-МЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ШАРНИРНОГО ЧЕТЫРЕХЗВЕННИКА 65
Бейсенов Нурлан Камелович

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД В ПРЕПОДАВАНИИ ОСНОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ В ВУЗАХ 77
Горбатов Вячеслав Валерьевич
Горбатов Ирина Владимировна
Акимов Александр Вячеславович
Жуков Евгений Михайлович

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ОТКЛОНЕНИЯ ОТ КРУГЛОСТИ ДОРОЖЕК КАЧЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ Четвериков Борис Сергеевич Дуганов Владимир Яковлевич Бортников Андрей Сергеевич	84
ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ TESNOMATIX PLANT SIMULATION Капранов Александр Евгеньевич Кувшинов Антон Сергеевич Шурыгин Алексей Юрьевич	90
ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ГИДРОЦИЛИНДРА В ДАТЧИКАХ ТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ МРС Любимый Николай Сергеевич Дуганов Владимир Яковлевич Тетерина Ирина Александровна	96
ВЫВЕРКА КРУПНОГАБАРИТНЫХ МАССИВНЫХ ЗАГОТОВОК ПРИ ОБРАБОТКЕ Марголит Ремир Борисович Карпов Юрий Вячеславович	102
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ МИКРОПРОФИЛЯ ПОВЕРХНОСТИ Жуков Евгений Михайлович Михарев Руслан Юрьевич	110
Секция «Методология и философия науки и техники»	117
СОЗДАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ, В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ И ТОПОГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ Рахимбаева Динара Жексенгалиевна	117
Секция «Приборостроение, метрология, радиотехника»	123
ВЫБОР СТАТИСТИЧЕСКИ УСТОЙЧИВОЙ ПРОЦЕДУРЫ ИСКЛЮЧЕНИЯ ВЫБРОСОВ Попов Александр Михайлович	123

Секция «Строительство и архитектура» 129

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПРОЧНОСТИ СТЕНКИ ДВУТАВРОВЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ ДЕЙСТВИИ
РАВНОМЕРНО-РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКИ
Абдуллаев Абдулла Рафикович 129

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТХОДОВ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА СВОЙСТВА СТЕНОВОЙ
КЕРАМИКИ 135
Лазарева Татьяна Леонидовна
Куликова Елена Сергеевна

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СОГЛАСНО
ДЕЙСТВУЮЩЕМУ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВУ РФ 141
Рафальская Татьяна Анатольевна

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
СТРОИТЕЛЬСТВА РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ШКОЛ 152
Шилов Александр Владимирович
Петренко Любовь Константиновна
Назаренко Ирина Александровна

«ВОПРОСЫ ВНЕДРЕНИЯ ПРИНЦИПОВ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ЖИЛЫЕ ЗДАНИЯ
НА ПРИМЕРЕ г. ЛИПЕЦКА» 158
Шкатова Мария Вячеславовна
Складнев Александр Иванович

Секция «Транспорт и связь, кораблестроение» 166

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И МЕТОДИКА
ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ
СЕДЕЛЬНОГО АВТОПОЕЗДА В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ
ЭКСПЛУАТАЦИИ 166
Шатманов Орозбек Токтогулович
Омуров Жыргалбек Макешович
Давлятов Улукбек Рыскулович

Секция «Электротехника» 176

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЭКСПЛУАТАЦИИ СКВАЖИН С ПРИМЕНЕНИЕМ
УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ 176
Козырев Илья Николаевич

**Секция «Энергетика и энергетические техника
и технологии» 181**

ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТОКОВ
КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭЭС ПРИ СЛОЖНЫХ
ВИДАХ ЗАМЫКАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ФАЗНЫХ КООРДИНАТ 181
Осак Алексей Борисович

СЕКЦИЯ
«АЭРОКОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА
И ТЕХНОЛОГИИ»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
НА ПРИМЕРЕ СОЗДАНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ГОЛОВКИ
ЗВЕЗДНОГО ДАТЧИКА

Елубаев Сулеймен Актлеуович

*заведующий лабораторией,
ДТОО «Институт космической техники и технологий»,
Республика Казахстан, г. Алматы
E-mail: elubaev.s@istt.kz*

Альбазаров Бахытжан Шапагатович

*ведущий научный сотрудник,
ДТОО «Институт космической техники и технологий»,
Республика Казахстан, г. Алматы
E-mail: albazarov.b@istt.kz*

Тен Владимир Валентинович

*ведущий научный сотрудник,
ДТОО «Институт космической техники и технологий»,
Республика Казахстан, г. Алматы
E-mail: ten.v@istt.kz*

Шамро Александр Валентинович

*заведующий сектором,
ДТОО «Институт космической техники и технологий»,
Республика Казахстан, г. Алматы
E-mail: shamro.a@istt.kz*

Сухенко Анна Сергеевна

*заведующий сектором,
ДТОО «Институт космической техники и технологий»,
Республика Казахстан, г. Алматы
E-mail: suhenko.a@istt.kz*

DESIGN OF OPTICAL SYSTEMS BY THE EXAMPLE OF OPTICAL HEAD OF STAR TRACKER

Suleimen Yelubayev

*head of laboratory, AALR “Institute of space technique and technology”,
Kazakhstan, Almaty*

Bakhytjan Albazarov

*leading researcher, AALR “Institute of space technique and technology”,
Kazakhstan, Almaty*

Vladimir Ten

*leading researcher, AALR “Institute of space technique and technology”,
Kazakhstan, Almaty*

Alexander Shamro

*sector manager, AALR “Institute of space technique and technology”,
Kazakhstan, Almaty*

Anna Sukhenko

*sector manager, AALR “Institute of space technique and technology”,
Kazakhstan, Almaty*

Работа выполнена в рамках РБП 076 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности, транспорта и коммуникаций».

АННОТАЦИЯ

В работе представлена методика проектирования оптической системы с использованием современного программного продукта (Zemax). Представлены основные требования к звездному датчику, к его оптической системе, анализ получаемых изображений. Также представлен анализ характеристик звездного датчика, созданного на основе представленного проектирования оптической системы с блендой.

ABSTRACT

The paper presents a methodology for designing the optical systems using modern software (Zemax). The basic requirements to the star tracker, requirements to its optical system and analysis of the images are presented.

Also it is presented an analysis of characteristics of star tracker that was created on the base of design of the optical system with the lens hood.

Ключевые слова: фокусное расстояние; апертура; звездная величина; линза; ориентация космического аппарата; программное обеспечение Zemax.

Keywords: focal length; aperture; star magnitude; lens, orientation of the spacecraft; Zemax software.

В статье описан процесс проектирования и создания оптической системы звездного датчика для использования в современных космических аппаратах (КА). Как правило, при проектировании КА используются комплектующие, имеющие летную историю, следовательно, продукты фирм, завоевавших место на мировом рынке. Для Республики Казахстан, начинающей развивать свою космическую индустрию, задачей является создание собственных комплектующих, позволяющих использовать их для будущих отечественных КА. К таким комплектующим относится звездный датчик (ЗД), процесс разработки которого включает в себя разработку и создание оптической головки, математического обеспечения (МО) обработки получаемого изображения.

Поскольку ЗД должен позволять определять угловое положение КА с точностью до нескольких угловых секунд, то МО должно обеспечивать определение координат звезд с большой точностью. Современные ЗД, например [1, с. 11; 2, с. 27], используют в качестве детекторов CCD, CMOS датчики. Для получения изображения звезд с субпиксельной точностью необходимо постобработка «размазанного» на несколько пикселей изображения звезды – нахождения центроида этого изображения. Разрабатываемое МО для обработки изображения звезды требует, чтобы изображение было равномерно «размазано» на 5–6 пикселей используемой матрицы. В рассматриваемом случае это составляет величины не более 96 мкм. Следует отметить, что «размазывание» не может быть произвольным.

Получение необходимого изображения звезды накладывает основное требование к оптической системе (ОС) ЗД. Так при требовании на полный угол зрения не менее 20° и необходимости иметь не менее 3-х звезд в поле зрения, достаточным является использование каталога звезд до +5.5 звездной величины (при частоте обновления 2 Гц, квантовой эффективности детектора до 50 % и собственных шумах детектора не более 5 электронов в секунду). Это позволяет определить требование к апертуре оптической системе: не менее 20 мм. При требовании для габаритных требований

к оптической головке с блендой (200x200x300 мм³), общая длина до фокальной плоскости оптической головки должна быть спроектирована минимальной (для системы выбрано значение в 65 мм). Спектральный диапазон работы ОС – от 0.42 мкм до 0.8 мкм. Температурный диапазон работы от – 20 град. до +50 град Цельсия.

Бленда проектируется и создается из требования, чтобы минимальный угол направления оптической оси ЗД на Солнце, при котором сохраняются функциональные характеристики прибора, составлял 40 градусов.

Как правило, в качестве оптической системы головки звездного датчика выбираются линзовые (диоптрические) системы со сферическими поверхностями. Требования, предъявляемые к оптической головке: ограниченность размеров, большая светосила (величина F# – отношение фокусного расстояния к апертуре у большинства подобных систем находится в диапазоне от 1 до 2), а также равномерность пятна рассеяния по полю зрения и ограниченность его размеров приводит к необходимости рассматривать многолинзовые системы.

При использовании линз со сферическими поверхностями, системы с количеством элементов меньше 6 не позволили получить изображение точечного источника, соответствующего выдвинутым требованиям. Использование программного продукта Zemax при проектировании, позволило получить необходимые результаты. Минимизация потерь принимаемого излучения, как это принято, достигается проведением просветления линз.

На рисунке 1 приведена 6 – линзовая система со сферическими поверхностями и диафрагмой, расположенной на 1 – ой поверхности. Апертура данной системы 20 мм, эффективное фокусное расстояние 40.053 мм, F# = 1.998, общая длина от 1 – ой поверхности до фокальной плоскости – 60.8 мм.

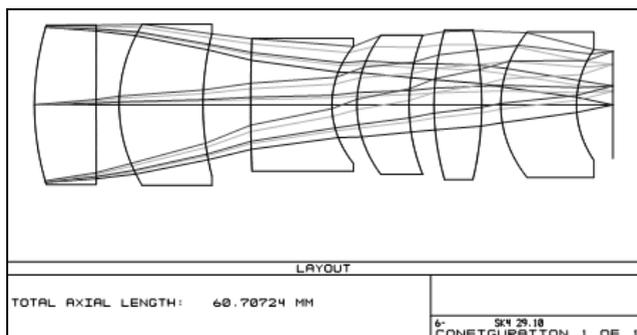


Рисунок 1. 6-линзовая оптическая система

Проведенный анализ полученной ОС показал, что ее как оптические, так и габаритные параметры отвечают поставленным требованиям.

На рисунке 2 показаны изображения точечного источника для различных длин волн в требуемом спектре и на рисунке 3 – для различных углов, в которые попадает точечный источник зрения (длины волн и углы расположения источника указаны на рисунках).

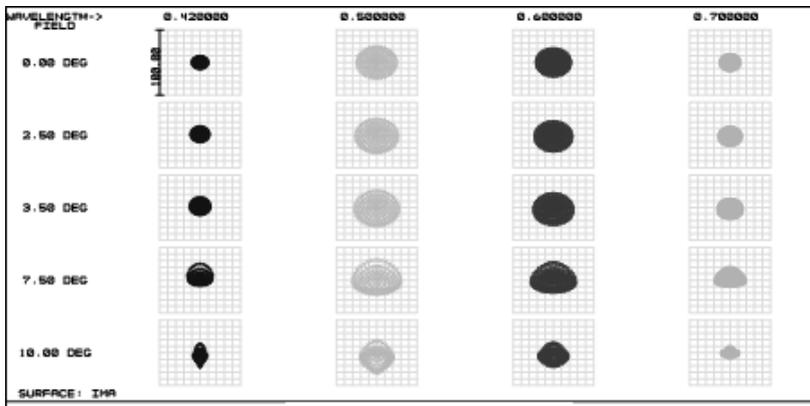


Рисунок 2. Спот-диаграммы, получаемые оптической системой в зависимости от спектра излучения и угла поля зрения

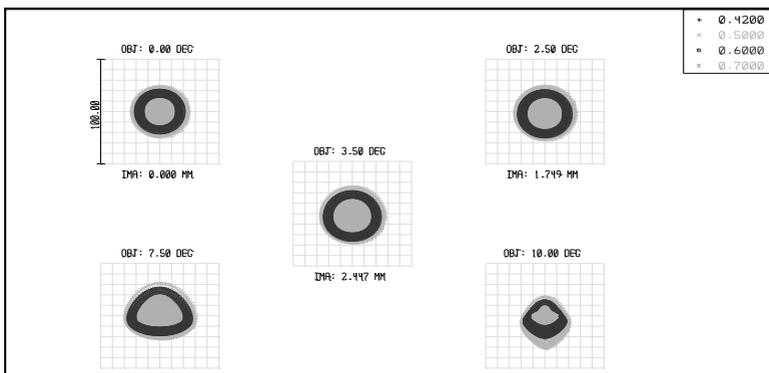


Рисунок 3. Полихроматические спот-диаграммы в зависимости от угла поля зрения

Приведенные иллюстрации показывают качественное распределение излучения от точечного источника и демонстрируют соответствие общепринятым для пятна рассеяния, получаемого оптической системой звездного датчика [3, с. 2]. Для определения этих количественных величин – необходимо провести анализ распределения энергии получаемого излучения в пятне изображения и значения функции распределения точки (ФРТ) в пикселях.

На рисунке 4 приводится функция рассеяния точки на оптической оси по модели Гюйгенса и на рисунке 5 – геометрические размеры пятна рассеяния и распределение энергии в пятне. Размеры пятна около 65 мкм по обеим осям (от -32 мкм до +32 мкм) и видно, что энергия от точечного источника полностью распределена внутри данного пятна, отсутствует «зашумление» соседних пикселей.

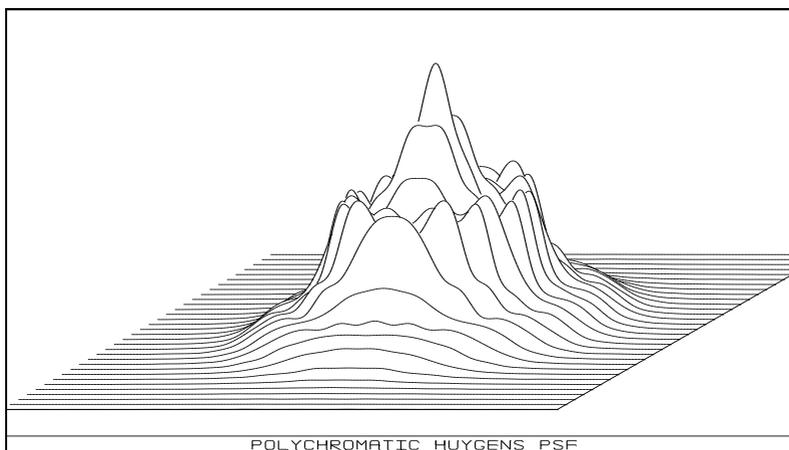


Рисунок 4. ФРТ на оси, вычисленная по методу Гюйгенса

Данный размер пятна, меньший, чем размер 3.5 пикселей на 20 %, оставлен намеренно, чтобы был запас по размеру при допусках на изготовление линз и сборку системы. При необходимости увеличения размеров пятна рассеяния – достаточно будет сделать дефокусировку системы.

Был проведен анализ аналогичных данных по полю зрения 3Д, который показал, что качественная структура пятна изображения точечного источника остается прежней, при некотором изменении его размеров, распределения интенсивности излучения.

Важнейшим фактором при проектировании оптических систем является реализуемость спроектированной системы, т. е. чувствительность ее на различные механические отклонения от проектных величин, а также на отклонения величины толщин линз и их кромок.

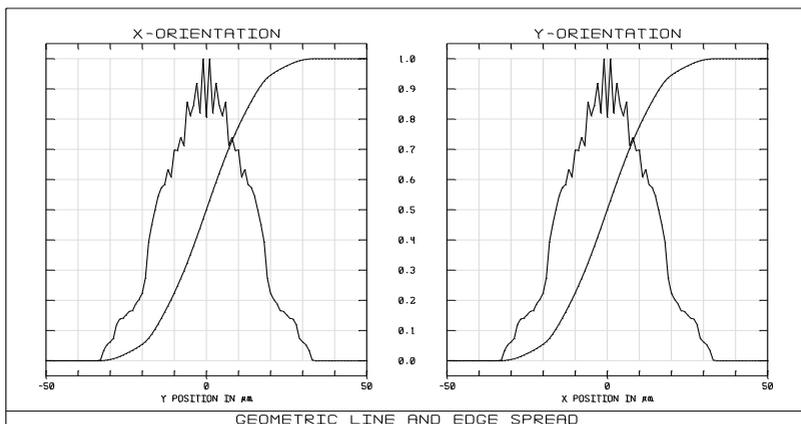


Рисунок 5. Размер пятен рассеяния точки на оси и распределение энергии в пятне (температура +20 град Цельсия, воздух)

При анализе на чувствительность к точности изготовления линз и сборке приняты следующие допуски, не влияющие на оптические характеристики системы:

- точность соблюдения радиуса кривизны сферических поверхностей линз – 0.1 мм;
- точность на соблюдение толщин линз и расстояний между линзами – 0.05 мм;
- точность центрирования линз в ОС – 0.05 мм;
- допуск на точность соблюдения показателя преломления стекол – 0.001;
- допуск на отклонения числа Аббе стекол – 1 %.

Принятые допуски были выбраны из возможностей инструментов, используемых при изготовлении линз, сборке всей системы и проведения контроля точности.

Также в процессе проектирования проводился анализ чувствительности системы на изменения во внешней среде: температуры, давления (замена воздуха на вакуум), который показал, что изменения оптических характеристик не превышают принятые допуски. Учет влияния ионизирующего излучения на оптические

свойства компонент осуществлен включением в состав двух линз, изготовленных из радиационно-стойких стекол. Так входная линза изготовлена из стекла К 108.

Таким образом, после изготовления оптических элементов и сборки, ожидалось, что система должна иметь приемлемые характеристики. Это было проверено путем ввода в ПО Zemax геометрических параметров, измеренных с учетом точности приборов, как компонент, так всей системы.

На рисунках 6 и 7 демонстрируются некоторые оптические характеристики собранной системы.

Анализ представленных рисунков показывает, что реализованная ОС отвечает предъявляемым требованиям по размеру пятна рассеивания, также, как и спроектированная оптическая система. Рисунок 7 также показывает на возможность получения необходимого его размера путем изменения расстояния до фокальной плоскости.

Одной из важных характеристик (которая в итоге оказывает существенное влияние на возможности КА) звездного датчика является минимальный угол между оптической осью и направлением на Солнце, при котором еще возможно функционирование ЗД – так называемый exclusion angle. Такая же характеристика вводится для минимального угла между внешней частью освещенной части диска Земли и оптической осью. Бленда должна обеспечивать как минимум 40–45 градусов для Солнца и 30–35 для Земли, иначе эксплуатация ЗД на низких (до 1000 км) околоземных орбитах практически теряет смысл. Хорошие образцы обеспечивают 35–40 градусов для Солнца и 30–35 для Земли, а лучшие (например, ОГ ЗД Hydra) – менее 30 градусов для Солнца и Земли.

При моделировании проектирования бленды ЗД в среде Matlab были приняты следующие допущения: типичные значения глубины ямы детекторов – 100–500 тысяч электронов, а конструкция бленды подбиралась таким образом, чтобы засветка от Солнца и/или Земли в фокальной плоскости не превышала 30–40 % глубины ямы пикселей детектора при заданном минимальном угле между оптической осью и Солнцем/Землей. Для удовлетворения этого требования фотоны, прибывающие с углом более заданного (например, 40 градусов), должны испытать как минимум 5–8 отражений в бленде до достижения поверхности детектора. Минимально необходимое количество отражений зависит от коэффициентов отражения внутренних элементов бленды и требуемого минимального угла.

Так как поверхность бленды является рассеивающей, при компьютерном моделировании часто используется метод Монте-Карло – направление дальнейшего распространения «фотона» после очередного

отражения выбирается случайно с распределением вероятности направлений, которое зависит от свойств покрытия поверхности.

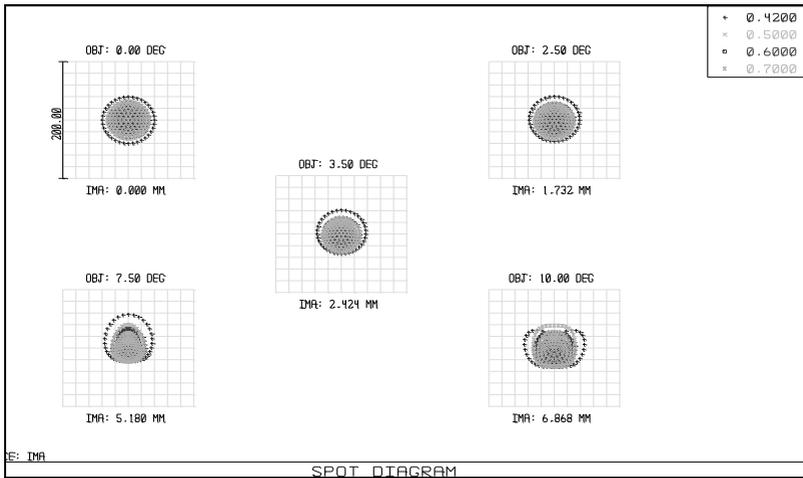


Рисунок 6. Изображения точки в зависимости от угла поля зрения, получаемые созданной системой

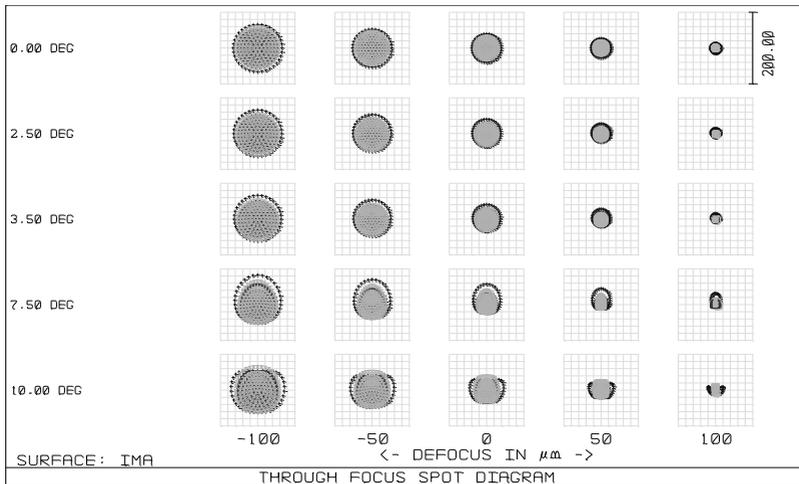


Рисунок 7. Изображения точки при различных положениях фокальной плоскости, созданной системы

Проведено моделирование нежелательной засветки от Солнца для предельного угла от оптической оси в 40 градусов. На рисунке 8 иллюстрируется результат моделирования хода лучей в бленде.

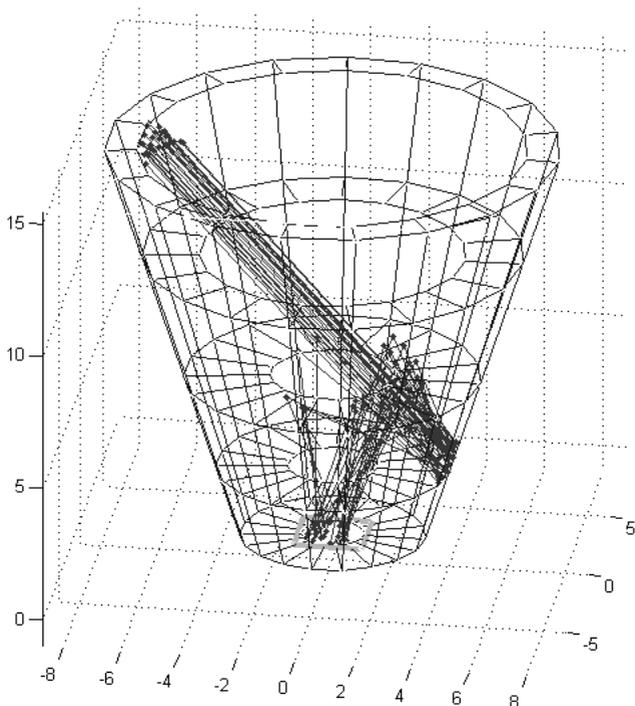


Рисунок 8. Моделирование нежелательной засветки ЗД

По результатам моделирования была изготовлена бленда, внутренняя поверхность была покрыта краской, имеющей низкий коэффициент отражения (не более 2 %).

Результаты полевых испытаний созданной ОС (съемка ночного неба в условиях высокогорья – 2700 м), показали полное соответствие полученных данных с результатами моделирования.

Таким образом, описаны этапы проведения проектирования оптической головки ЗД, включая ее бленду, представлен анализ созданной на этой основе системы, проведено сравнение результатов моделирования и функциональных испытаний. В дальнейшем, для создания протолетной модели, предполагается проведение ее полных наземных испытаний.

Список литературы:

1. Дятлов С.А., Бессонов Р.В. Обзор звездных датчиков ориентации космических аппаратов // Современные проблемы ориентации и навигации космических аппаратов: сборник трудов Всерос. научно-техн. конф. (Таруса, 22–25 сентября 2008 г.). – Таруса, 2008. – С. 12–31.
2. Ключников М.В. Звездный датчик и его использование для полетной фотограмметрической калибровки оптико-электронной аппаратуры дистанционного зондирования Земли: дис. канд. техн. наук. – М., 2003. – С. 27–28.
3. Leijtens J., Vliegenthart W., Lampridis D. A new star (sensor) is born // Proc. of Int. conf. on Space Optics. – Greece, 2010. – [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: https://www.researchgate.net/publication/228107687_A_NEW_STAR_SENSOR_IS_BORN (Дата обращения: 29.02.2016).

ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ С СОЛНЕЧНЫМ ПАРУСОМ

Поляхова Елена Николаевна

*канд. физ.-мат. наук, доц.,
Санкт-Петербургский государственный университет,
РФ, г. Санкт-Петербург
E-mail: pol@astro.spbu.ru*

Королев Владимир Степанович

*канд. физ.-мат. наук, доц.,
Санкт-Петербургский Государственный Университет,
РФ, г. Санкт-Петербург
E-mail: yokorol@bk.ru*

PROBLEMS OF SOLAR SAIL SPACECRAFT CONTROL

Elena Polyakhova

*candidate of Physical and Mathematical Sciences, Assistant Professor,
Saint-Petersburg State University,
Russia, Saint-Petersburg*

Vladimir Korolev

*candidate of Physical and Mathematical Sciences, Assistant Professor,
Saint-Petersburg State University,
Russia, Saint-Petersburg*

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы проведения фундаментальных исследований СПбГУ по приоритетным направлениям (грант 6.37.341.2015).

АННОТАЦИЯ

Специфика управления солнечным парусом космического аппарата состоит во взаимосвязи поступательного и вращательного движений всей конструкции. Чтобы управлять движением, необходимо менять размеры или ориентацию паруса относительно потока солнечных лучей.

ABSTRACT

Specificity of solar sail spacecraft control is in conjunction of its translational and rotational motions. To control the movement of the spacecraft, it is necessary to change the size or orientation of the sail in the sunlight flow.

Ключевые слова: космическая динамика; световое давление; солнечный парус; управление.

Keywords: spaceflight dynamics; radiation pressure; solar sail; control.

Принцип движения космических аппаратов (КА) под солнечным парусом базируется на эффекте светового давления, который открыл и измерил экспериментально П.Н. Лебедев в 1899 г. Впервые гипотеза о световом давлении была высказана еще Кеплером для объяснения отклонения хвостов от ядра кометы, пролетающей вблизи Солнца. Сама возможность использовать этот эффект для космических полётов была выдвинута Ф.А. Цандером [20] в 1924 г. Он рассмотрел

конструкции солнечных парусов и пытался разработать основы теории движения в космосе таких объектов [1; 13; 15].

Пусть парус представляет собой зеркало, которое обладает идеальными свойствами [18]. Установим его в плоскость, перпендикулярную солнечным лучам. Тогда сила давления светового потока направлена вдоль излучения. Набегающие фотоны дважды обмениваются импульсом с парусом: при поглощении и при излучении обратно. Зеркало в свою очередь передаёт это силовое воздействие КА.

Если повернем плоский зеркальный парус (рис. 1) под углом ϑ к лучам потока, то импульс, передаваемый солнечному парусу со стороны фотонов, будет направлен перпендикулярно светоотражающей поверхности. Часть импульса, направленную параллельно парусу, фотоны сохраняют у себя, так что парусу достанется меньше, чем при полном раскрытии к лучам. Величина светового давления упадет, а направление давления будет совпадать с нормалью к парусу, отложенной с теневой его стороны.

Если солнечный парус сделан из черного материала, то его тяга оказывается в два раза меньше идеально зеркального. Вдобавок в этом случае сила будет направлена не по нормали к поверхности, а по направлению потока солнечных лучей. Реальный парус отражает лишь часть падающих на него лучей, поэтому его эффективность лежит между идеальным и черным парусами, а также зависит от его положения.

Поворачивая парус, мы получаем возможность управлять направлением вектора тяги [1; 2; 19; 24]. Однако за это приходится платить ее величиной, так как если нормаль плоского паруса перпендикулярна потоку лучей, то парус вообще не даст никакой тяги. Ускорение, которое сообщает КА поток солнечных лучей, зависит также от отношения площади паруса к массе всей конструкции.

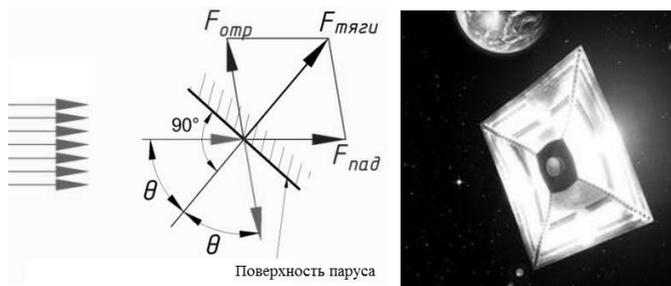


Рисунок 1. Формирование силы светового давления на солнечный парус

В силу своей специфики солнечный парус может использоваться прежде всего для полетов в околосолнечном пространстве. Раскрытие паруса на круговой гелиоцентрической орбите приведет к тому, что световое давление частично скомпенсирует притяжение Солнца. Это дает основание говорить о математической модели фотогравитационного поля [10; 18]. Например, для ускорения 1 мм/с^2 на расстоянии Земли от Солнца космическому аппарату массой 500 кг потребуется парус площадью 5 гектаров в полном раскрытии к лучам. Для сравнения отметим, что гравитационное притяжение к Солнцу дает ускорение на орбите Земли 6 мм/с^2 . Масса паруса должна входить в те самые 500 кг общей массы спутника. Можно использовать полиэфирную пленку с коэффициентом отражения 0,85 при соответствующем напылении [15].

Если космический аппарат со сложенным солнечным парусом уже доставлен на орбиту движения вокруг Земли или Солнца, то его раскрытие обеспечит КА практически неограниченным запасом энергии. Однако у паруса есть один недостаток: в отличие от реактивных двигателей, мы не можем использовать его тягу в любом направлении с одинаковой эффективностью. Необходимо ориентировать парус специальным образом так, чтобы добиться желаемого изменения параметров орбиты. Повернув парус под углом, чтобы фотоны отскакивали назад относительно направления орбитального движения, мы получим небольшую силу, постепенно ускоряющую КА, то есть сможем двигаться по раскручивающейся спирали. При развороте паруса в другую сторону получим торможение и уменьшение расстояния до Солнца.

Чтобы изменить наклон плоскости орбиты КА, необходимо направить отражаемый солнечный лучик перпендикулярно начальной плоскости. Кроме того, вытянутую эллиптическую орбиту можно повернуть, изменяя долготу перицентра относительно центрального тела, чтобы сделать ее ближе к орбите астероида или кометы, встречи с которыми необходимо осуществить [5; 27].

Еще более интересные маневры можно выполнять с помощью солнечного паруса в околоземном пространстве. Направление светового излучения в этом случае не совпадает с направлением на центр притяжения. В течение года Земля совершает полный оборот относительно Солнца. Запасаясь терпением, можно дожидаться оптимального для маневра времени года и перевести КА с помощью паруса на желаемую орбиту.

Первые практические разработки солнечного парусника были начаты в семидесятых годах XX века. Намечавшаяся на 1986 год

перспектива полета КА под солнечным парусом для встречи с кометой Галлея не состоялась. Основная трудность состояла в упаковке гигантского полотнища в контейнер для вывода в космос и развертывания в рабочее положение уже на орбите. Позднее была признана удачной конструкция разрезного паруса наподобие вертолетного винта, каждая лопасть которого раскатывается из контейнера радиально. Благодаря многочисленным разработкам можно выбирать из огромного разнообразия моделей парусов (рис. 2). Это сплошные пленочные паруса (круглые, квадратные, веерные), паруса-парашюты, надувные баллоны, паруса типа вертолетного винта, лепестковые паруса типа «ромашки» и «подсолнуха», паруса сотовой конструкции на базе отдельных зеркальных модулей, системы пленочных передаточных зеркал и другие.

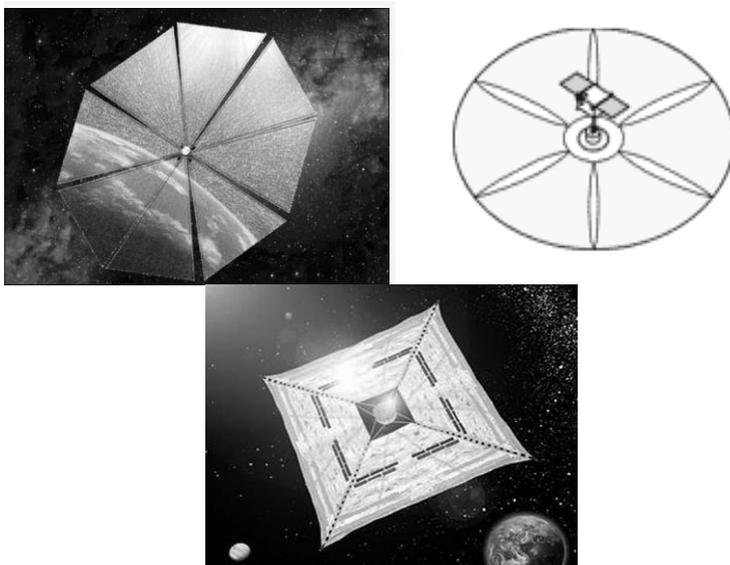


Рисунок 2. Разнообразие моделей парусов

Отметим три основных проблемы:

- развертывание паруса большой площади в рабочее положение,
- жесточайший лимит на полную массу корабля с парусом,
- обеспечение требуемой ориентации паруса в полете.

Только при условии разрешения всех проблем можно говорить о реальности космической миссии. При этом необходимо обеспечить достаточно сложное управление самим парусом, изменяя нужным образом его положение.

Эффективность обычных парусов всегда связана с углом их ориентации по отношению к лучам. В системе зеркал можно устанавливать такой ход лучей, чтобы направления падающего и отраженного световых потоков мало зависели друг от друга.

Специфика управления солнечным парусом состоит во взаимосвязи поступательного и вращательного движений всей конструкции [9; 23]. Чтобы управлять тягой, необходимо менять ориентацию паруса, что требует работы микродвигателей. Самой выгодной представляется конструкция паруса, которая сама обеспечивала бы контроль за установкой нужной ориентации и управление для ее сохранения. В этом плане одним из перспективных вариантов солнечного паруса является двухстворчатая конструкция, предложенная с участием одного из авторов статьи [13–15]. Построив такое двухстворчатое зеркало паруса определенных пропорций (рис. 3), мы получим саморегулирующуюся по ориентации на Солнце конструкцию.

Силы давления \mathbf{F}_i светового потока пропорциональны площади S_i поверхности элемента паруса и коэффициенту отражения k . Они зависят от расстояния r до Солнца и направления вектора нормали \mathbf{n} к поверхности элемента

$$\mathbf{F}_i = kS_i \frac{b}{r^2} \cos(\vartheta_i) \mathbf{n}_i. \quad (1)$$

Устойчивость обеспечивают моменты сил (1) относительно центра масс, которые меняют величину при малых отклонениях от нужного направления

$$\mathbf{M} = \sum_i \mathbf{r}_i \times \mathbf{F}_i(\vartheta_i). \quad (2)$$

Главный вектор момента (2) сил давления, действующих на все элементы, будет отличен от нуля, если элементы имеют разные площади или углы относительного расположения. Это определяет возможность возврата в нужное направление или использование для разворота и создания нового расположения основного корпуса КА для ориентации в нужном направлении. Расположение элементов

относительно корпуса можно менять с помощью двигателей, если поддерживать их работоспособность на основе солнечных батарей.

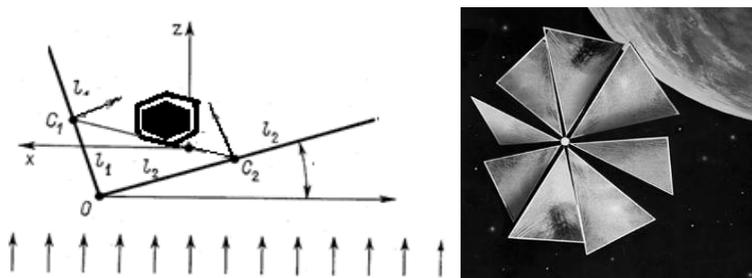


Рисунок 3. Схема расположения управляемой конструкции

Решение перечисленных проблем открывает интересные перспективы. Разумно управляя солнечным парусом, можно разогнать КА около Земли до второй космической скорости и выйти в межпланетное пространство для космического путешествия [1; 5; 6; 13; 27]. Маневры, которые космический аппарат может выполнить с помощью солнечного паруса, достаточно разнообразны. Однако, они повторяют спектр маневров, которые осуществимы с помощью других двигательных установок. Представляют интерес уникальные свойства парусов. К ним следует отнести возможность функционирования паруса в околосолнечных областях, где он одновременно может играть роль не только энергетической установки, но и экрана, который защищает приборный отсек от перегрева. Такая конструкция окажется незаменимой для проведения исследования физики околосолнечного пространства [24] и наблюдения за солнечными пятнами с близкого расстояния.

Имеется также возможность создания орбиты, синхронной с осевым вращением Солнца, то есть гелиосинхронной орбиты. Раскрытие паруса КА при этом уменьшит притяжение и спутник зависает над солнечным пятном по аналогии с полетом геостационарного над одной и той же точкой Земли. Возрастание эффективности солнечного паруса при приближении к Солнцу позволяет считать его перспективным на таком маршруте.

Что касается околосолнечных космических маневров, то здесь возможности еще более разнообразны. Например, уникальная роль паруса может состоять в его применении как сборщика космического мусора и техногенных отходов с околосолнечных спутниковых орбит. Проблема очистки орбит давно уже является актуальной.

На геостационарной орбите плотность размещения приближается к критической, но КА с солнечным парусом сможет оказать неоценимую услугу по ее очистке, чтобы спутники не мешали друг другу работать. Специальный космический аппарат сможет забирать в контейнер спутник с густо населенной орбиты для доставки на другую, которая пока более свободна. Другой вариант применения предполагает возможность передать или прикрепить аналог парашюта, который будет ускорять сход с орбиты для прекратившего работу КА благодаря торможению при действии потока света и усилит сопротивление атмосферы уже на больших расстояниях до поверхности Земли.

Еще более успешной и полезной может быть использование солнечного паруса для вывода КА на геосинхронную стационарную широтную орбиту и дальнейшего устойчивого функционирования (рис. 4). Плоскость такой орбиты параллельна плоскости экватора, но находится на ненулевой широте.

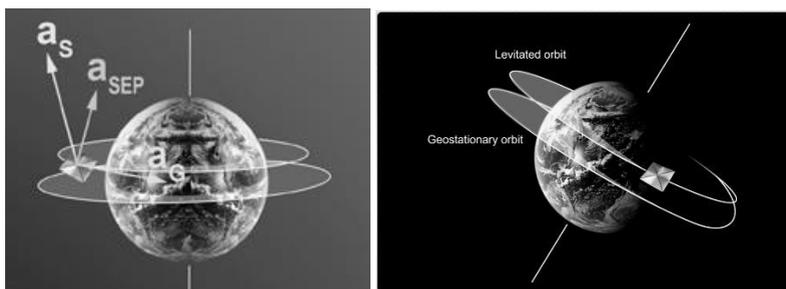


Рисунок 4. Геосинхронная стационарная широтная орбита

На таких широтных орбитах можно формировать новые комплексы для размещения спутниковых систем теле- или радиосвязи. После создания солнечного паруса, который сможет успешно функционировать на орбите сколь угодно долго, можно предусмотреть возможность замены для обновления некоторых элементов аппаратуры при обслуживании системы КА [5; 6].

Технология крупногабаритных конструкций отражателей солнечного света в сторону поверхности Земли только зарождается [15]. Зато перспективы таких орбитальных устройств заманчивы. Солнечные рефлекторы смогут вечером и ночью освещать большие города (рис. 5). Не меньше нуждаются в освещении заполярные регионы, населенность которых достаточно велика. Добрую службу в будущем может сослужить отраженный свет и в случае стихийных бедствий (землетрясений,

наводнений или крупных аварий), когда космическое освещение будет играть не менее важную роль, чем оперативная связь, осуществляемая сегодня с помощью спутников.

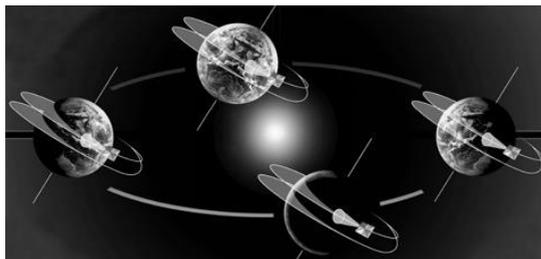


Рисунок 5. Использование отражателей солнечного света

Создание полноценного солнечного парусника остается делом будущего. Для этого потребуются сложные конструкторские решения и космические технологии [1]. Особой задачей становится управление КА с использованием солнечного паруса в качестве двигательных установок малой тяги.

Теория оптимального управления приводит к сложным задачам решения дополнительно полученных уравнений математических моделей, которые могут использовать принцип максимума Понтрягина или уравнение Беллмана для различных условий. Существуют аналитические и численные методы исследования, которые получают точные или приближенные решения [6; 8; 10].

Уравнения движения КА в центральном гравитационном поле с учетом возмущений могут быть записаны в различном виде при выборе декартовых, сферических или цилиндрических координат, кеплеровых элементов или канонических переменных. В случае движения при сохранении начальной плоскости орбиты можно также использовать полярные координаты (r, ϕ) :

$$\frac{d^2 r}{dt^2} + \frac{\mu}{r^2} - r(\dot{\phi})^2 = P_1, \quad \frac{d}{dt}(r^2 \dot{\phi}) = rP_2. \quad (3)$$

Здесь P_i ($i=1,2$) – радиальная и трансверсальная компоненты ускорения, которые зависят от закона управления $u(t)$ углом установки элементов паруса по отношению к потоку солнечных лучей

и величины удельного давления света F_0 на соответствующем удалении от Солнца.

Алгоритмы управления многочисленны и разнообразны, так как они определяются параметрами начальной и конечной орбит или назначением маневра. Движение в центральном гравитационном поле имеет решение, которое при отсутствии возмущающих сил определяется начальными значениями радиус-вектора, вектора скорости и гравитационным параметром центрального тела. Они определяют постоянные параметры орбиты, которые называются кеплеровыми элементами $(a, e, i, \Omega, \omega, M_0)$. Здесь перечислены: большая полуось a , эксцентриситет эллипса e , наклон плоскости орбиты i , долгота восходящего узла Ω , долгота перицентра ω и средняя аномалия M_0 в начальный момент времени t_0 . Кеплеровы элементы орбиты для возмущенного движения КА будут функциями времени, которые называют оскулирующими элементами.

Это позволяет вычислять декартовы координаты $\mathbf{x}(t)$ и скорости $\mathbf{v}(t)$ в абсолютной системе координат для невозмущенного движения в произвольный заданный момент времени t с учетом обозначений

$$\begin{aligned} r &= a(1 - e \cos E), \quad p = a(1 - e^2), \\ \alpha &= \sqrt{\frac{\mu}{p}} e r^{-1} \sin \vartheta, \quad \beta = \sqrt{\mu p} r^{-1}, \\ E - e \sin E &= M_0 + n(t - t_0) = M. \end{aligned} \quad (4)$$

по формулам [4; 25]

$$\begin{aligned} x_1 &= r(\cos u \cos \Omega - \sin u \sin \Omega \cos i), \\ x_2 &= r(\cos u \sin \Omega + \sin u \cos \Omega \cos i), \\ x_3 &= r \sin u \sin i, \\ v_1 &= \alpha(\cos u \cos \Omega - \sin u \sin \Omega \cos i) \\ &\quad - \beta(\sin u \cos \Omega + \cos u \sin \Omega \cos i), \\ v_2 &= \alpha(\cos u \sin \Omega + \sin u \cos \Omega \cos i) \\ &\quad - \beta(\sin u \sin \Omega + \cos u \cos \Omega \cos i), \\ v_3 &= \alpha \sin u \sin i + \beta \cos u \sin i. \end{aligned} \quad (5)$$

Время движения между двумя точками орбиты можно определить из последнего уравнения (4), которое называют уравнением Кеплера. Для нахождения изменений оскулирующих

элементов возмущенного движения можно использовать дифференциальные уравнения Эйлера

$$\begin{aligned}
 \frac{d a}{d t} &= 2 a^2 (e \sin \vartheta P_1 + p r^{-1} P_2), \\
 \frac{d e}{d t} &= p (\sin \vartheta P_1 + \cos \vartheta P_2 + \cos E P_3), \\
 \frac{d i}{d t} &= r \cos \vartheta P_3, \\
 \frac{d \Omega}{d t} &= r \sin u \sin^{-1} i P_3, \\
 \frac{d \omega}{d t} &= e^{-1} [(r+p) \sin \vartheta P_2 - p \cos \vartheta P_1] - \cos i \frac{d \Omega}{d t}, \\
 \frac{d M_0}{d t} &= \sqrt{e^{-2} - 1} [(p \cos \vartheta - 2 e r) P_1 - (r+p) \sin \vartheta P_2].
 \end{aligned} \tag{6}$$

Здесь правые части уравнений определяются текущими значениями элементов и проекциями P_i на оси орбитальной системы координат ускорения, вызванного действием возмущающих сил.

Изменения декартовых координат при движении КА в пространственном случае можно описывать уравнениями второго порядка

$$\frac{d^2 x_i}{d t^2} + \frac{\mu}{r^3} x_i = \frac{\partial U}{\partial x_i} + f_i, \quad i = 1, 2, 3, \tag{7}$$

которые можно переписать в виде системы шести уравнений первого порядка в нормальной форме. Здесь x — декартовы координаты, r — модуль радиус-вектора, U — силовая функция возмущений, μ — гравитационный параметр, f_i — непотенциальные ускорения, вызванные действием возмущающих сил.

Кроме сил гравитационного взаимодействия и светового давления можно учитывать влияние сопротивления атмосферы при движении в окрестности Земли, тягу двигателей на активных участках траектории и другие возмущения.

Направление вектора тяги и моменты относительно основного корпуса КА можно менять при условии, что величина поверхности солнечного паруса и расположение элементов паруса относительно аппарата может изменяться с использованием дополнительных устройств [3; 7; 22]. Тогда можно выбирать управление в процессе маневрирования наилучшим образом.

В случае, когда основными действующими силами можно считать силы гравитационного взаимодействия с Солнцем и световое давление на парус, можно использовать модель фотогравитационного центрального поля для определения перелетов к астероидам или планетам.

Если рассматривается движение в окрестности Земли, то направления двух основных сил не совпадают, но можно в первом приближении полагать, что световой поток определяет постоянную по величине силу, которая проходит коллинеарно прямой, которая проходит через два главных тела системы в рамках ограниченной задачи трех тел [8; 10; 19], а затем учитывать поправки для управления ориентацией благодаря изменениям углового положения или формы паруса. Таким образом в уравнения движения будет входить постоянное возмущение, которое легко учитывать. Особый интерес представляет случай размещения КА в окрестности точек либрации Эйлера-Лагранжа, где малые силы возмущений будут определять характер движения и условия устойчивости.

Список литературы:

1. Егоров В.А. Помазанов М.В. Солнечный парус: принципы конструкции. Управление и перелеты к астероидам. – М.: Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша, 1997, 087.
2. Карпасюк И.В., Шмыров А.С. Управление космическим аппаратом с солнечным парусом на низкоширотной околокруговой орбите // Вестник С.-Петербур. ун-та. Сер. 1. 1999. Вып. 4, № 22. – С. 89–93.
3. Королев В.С. Об управлении движением механической системы при переменном распределении массы тел // Известия РАЕН, серия МММИУ, 2000, т. 4. С. 108–117.
4. Королев В.С. Определение движения навигационных спутников с учетом возмущений // Вестн. С-Петербур. ун-та. Серия 10. 2004. Вып. 3–4. С. 39–46.
5. Королев В.С. Задачи оптимального инспектирования астероидов космическим аппаратом // Избранные труды конференции по механике «Шестые Поляховские чтения». – М. 2012. С. 123–126.
6. Королев В.С. Оптимальные траектории перехода космических аппаратов между заданными орбитами различного типа // Технические науки – от теории к практике. 2014, № 32, С. 62–70.
7. Меркулов И.А., Хоромский И.А. Влияние параметров экрана на оценку эффективности солнечного паруса // Труды II чтений, посвященных развитию идей Ф.А. Цандера. – М., 1974, С. 55–63.
8. Новоселов В.С. Аналитическая теория оптимизации в гравитационных полях. – Л.: изд. ЛГУ, 1972, 317 с.

9. Новоселов В.С., Королев В.С. Аналитическая механика управляемой системы. – СПб.: изд. СПбГУ, 2005, 298 с.
10. Новоселов В.С., Королев В.С., Поляхова Е.Н., Шмыров А.С. Аналитические и качественные методы исследования вырожденных случаев, возмущенных и управляемых гамильтоновых систем // Отчет НИР № 96-01-609, РФФИ, 1996.
11. Поляхова Е.Н. Долгопериодические возмущения искусственных спутников под действием светового давления // Вестник Ленингр. Ун-та, 1970, № 7, С. 144–152.
12. Поляхова Е.Н. Определение возмущающих моментов сил давления солнечной радиации, действующей на тело вращения // Труды АО ЛГУ, 1972, № 29, С. 152–163.
13. Поляхова Е.Н. Космический полет с солнечным парусом: проблемы и перспективы. – М.: Наука, 1986. – 304 с.
14. Поляхова Е.Н., Гриневицкая Л.К. Построение приближенного решения уравнений геоцентрического движения космического аппарата с солнечным парусом // Вестник Ленингр. Ун-та, 1973, № 7, С. 134–143.
15. Поляхова Е.Н., Коблик В.В. Солнечный парус – фантастика или реальность космоплавания? – М.: ЛЕНАРД, 2016. – 228 с.
16. Поляхова Е.Н., Королев В.С. Уточнение алгоритма определения моментов прохождения тени для ИСЗ // Труды конференции «Процессы управления и устойчивость». – СПб, СПбГУ, 2004. – С. 192–194.
17. Поляхова Е.Н., Старков В.Н., Степенко Н.А. Полеты космического аппарата с солнечным парусом вне плоскости эклиптики // Материалы III конференции «Устойчивость и процессы управления». – СПб.: СПбУ, 2015. – С. 91–92.
18. Поляхова Е.Н., Шмыров А.С. Физическая модель сил давления световой радиации на плоскость и сферу. Вестник С-Петерб. ун-та. Серия 1. 1994. № 2. – С. 87–104.
19. Поляхова Е.Н., Шмыров А.С., Шмыров В.А. О задаче стабилизации орбитального движения космического аппарата с солнечным парусом в окрестности L1 // Материалы III конференции «Устойчивость и процессы управления». – СПб.: СПбУ, 2015. – С. 149–150.
20. Цандер Ф.А. Об использовании силы давления света для полетов в межпланетном пространстве // «Проблемы полета при помощи реактивных аппаратов. Межпланетные полеты». – М., 1961. – С. 361–381.
21. Forward R.L. Light-Levitated Geostationary Cylindrical Orbits. Journal of the Astronautical Sciences, vol. 29, № 981, P. 73–80.
22. Forward R.L. Light-Levitated Geostationary Cylindrical Orbits: Correction and Expansion. Journal of the Astronautical Sciences, vol. 38, № 3, 1990, P. 335–353.

23. Kirpichnikov S.N., Kirpichnikova E.S., Polyakhova E.N., Shmyrov A.S. Planar heliocentric roto-translatory motion of a spacecraft with a solar sail of complex shape // *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, vol. 63, № 3-4, 1996, P. 255–269.
24. Koblik V.V., Polyakhova E.N., Sokolov L.L., Shmyrov A.S. Controlled solar sailing transfer flights into near-sun orbits under restrictions on sail temperature // *Cosmic Research*, vol. 34, № 6, 1996, P. 572–578.
25. Korolev V.S. Problems of spacecraft multi-impulse trajectories modeling // International Conference «Stability and Control Processes», 2015, P. 91–94.
26. Korolev V.S., Pototskaya I.Yu. Integration of dynamical systems and stability of solution on a part of the variables // *Applied Mathematical Sciences*, vol. 9 (15), 2015, P. 721–728.
27. Martyusheva A., Oskina K., Petrov N., Polyakhova E. Solar radiation pressure influence in motion of asteroids, including near-earth objects // International Conference on Mechanics “Seventh Polyakhov’s Reading”, 2015. С. 7106756.
28. Polyakhova E.N., Starkov V.N., Stepenko N.A. Solar sailing out of ecliptic plane // “Stability and Control Processes”, 2015, P. 65–68.

СЕКЦИЯ

«БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА, ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ОХРАНА ТРУДА И ЭКОЛОГИЯ»

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ЭТАПЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Колобов Андрей Николаевич

*директор, Общество с ограниченной ответственностью «КАН»,
РФ, Республика Башкортостан, г. Уфа
E-mail: kan-ufa@mail.ru*

Колобов Николай Сергеевич

*главный инженер, Общество с ограниченной ответственностью «КАН»,
РФ, Республика Башкортостан, г. Уфа
E-mail: kan-ufa@mail.ru*

Старостина Екатерина Александровна

*начальник отдела разработки и экспертизы промышленной
безопасности проектной документации и иной документации,
Общество с ограниченной ответственностью «КАН»,
РФ, Республика Башкортостан, г. Уфа
E-mail: kan-ufa@mail.ru*

Пестов Александр Владимирович

*начальник отдела экспертизы промышленной безопасности
технических устройств, зданий и сооружений,
Общество с ограниченной ответственностью «КАН»,
РФ, Республика Башкортостан, г. Уфа
E-mail: kan-ufa@mail.ru*

Кайсарова Евгения Анатольевна

*эксперт отдела экспертизы промышленной безопасности
технических устройств, зданий и сооружений,
Общество с ограниченной ответственностью «КАН»,
РФ, Республика Башкортостан, г. Уфа
E-mail: kan-ufa@mail.ru*

Кондрацкий Вадим Дмитриевич

*ведущий инженер, ООО НПЦ «УралЭнергоРесурс»,
РФ, Республика Башкортостан, г. Уфа
E-mail: uernpc@rambler.ru*

BASIC PRINCIPLES AND STAGES OF CARRYING OUT EXPERT EXAMINATION OF INDUSTRIAL SAFETY PROJECT DOCUMENTATION

Andrey Kolobov

*director of LLK “KAN”,
Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa*

Nikolay Kolobov

*chief Engineer of LLK “KAN”,
Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa*

Ekaterina Starostina

*head of Development and Safety Expert Review of Project Documentation
and Other Documents Division of LLK “KAN”,
Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa*

Alexander Pestov

*head of Safety Expert Review of Technical Devices,
Buildings and Constructions Division of LLK “KAN”,
Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa*

Evgeny Kaysarova

*expert of Safety Expert Review of Technical Devices,
Buildings and Constructions Division of LLK “KAN”,
Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa*

Vadim Kondratsky*lead Engineer LLC SPC "UralEnergoResurs",
Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa*

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены основные принципы и этапы проведения экспертизы промышленной безопасности проектной документации.

ABSTRACT

Basic principles and stages of carrying out expert examination of industrial safety project documentation are considered in the article.

Ключевые слова: опасные производственные объекты; проектная документация; промышленная безопасность; экспертиза промышленной безопасности.

Keywords: hazardous industrial facilities; project documentation; industrial safety; expert examination of industrial safety.

В соответствии с действующим законодательством, экспертизе промышленной безопасности подлежит следующая проектная документация:

1) документация на консервацию и ликвидацию опасного производственного объекта;

2) документация на техническое перевооружение опасного производственного объекта в случае, если такая документация не входит в состав проектной документации данного объекта, подлежащей экспертизе в соответствии с законодательством Российской Федерации о градостроительной деятельности.

Экспертиза промышленной безопасности проектной документации должна проводиться организацией, имеющей соответствующую лицензию Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, до начала работ по консервации, ликвидации или техническому перевооружению опасного производственного объекта.

Экспертиза промышленной безопасности проводится с целью подтверждения соответствия объекта экспертизы – проектной документации на консервацию, ликвидацию или техническое перевооружение опасного производственного объекта, предъявляемым к ней требованиям промышленной безопасности.

В процессе проведения экспертизы промышленной безопасности изучается документация, представленная заказчиком экспертизы:

1) проект (на консервацию, ликвидацию или техническое перевооружение) со всеми приложениями;

- 2) утвержденное задание на проектирование;
- 3) имеющиеся разрешительные документы проектной организации, свидетельства об аттестации проектировщиков;
- 4) имеющиеся сертификаты соответствия на применяемое в проектной документации оборудование.

Нормативными документами установлен срок проведения экспертизы промышленной безопасности – не более трех месяцев с момента получения экспертной организацией всей необходимой документации. Экспертизу проводит эксперт или группа экспертов, назначаемые приказом руководителя экспертной организации.

Состав работ по экспертизе промышленной безопасности проектной документации непосредственно зависит от объекта проектирования, но в общем включает в себя:

1. оценку и анализ и всех решений, предусмотренных проектной документацией;
2. определение оптимальности принятого технологического процесса в части его безопасности и надежности, обоснованности технических решений и мероприятий по обеспечению безопасности ведения работ, предупреждению аварийных ситуаций и ликвидации их последствий;
3. установление характеристик основных взрывопожароопасных, токсичных свойств опасных веществ;
4. проверку наличия и достаточности мероприятий, направленных на обеспечение безопасности проектируемого объекта;
5. определение возможности оперативного отключения отдельных элементов объекта в случае аварии или ремонта;
6. анализ оптимальности применяемых в проекте решений по компоновке технологического оборудования;
7. анализ автоматизированных систем управления технологическими процессами
8. анализ систем оперативного управления, прогнозирования, обнаружения, локализации и ликвидации аварий;
9. анализ возможности автоматического поддержания заданных параметров эксплуатации, управления, эффективности систем противоаварийной защиты и сигнализации, достаточности мер по локализации и ликвидации последствий аварий и т. д.

Результатом проведения работ по экспертизе промышленной безопасности проектной документации является заключение экспертизы промышленной безопасности, которое содержит информацию о соответствии либо несоответствии проекта требованиям промышленной безопасности. Заключение экспертизы промышленной

безопасности подлежит внесению в реестр территориального управления Ростехнадзора по месту нахождения опасного производственного объекта.

Список литературы:

1. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (с изменениями на 13.07.2015) // Курьер. Еженедельник официальной информации (приложение к «РВ») № 22, 29.07.97 Ведомости Федерального Собрания Российской Федерации № 24, 21.08.97 Собрание законодательства Российской Федерации, № 30, 28.07.97, ст. 3588 Российская газета, № 145, 30.07.97.
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14.11.2013 г. № 538.

ПЛАНИРОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЛОКАЛИЗАЦИИ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Колобов Андрей Николаевич

директор, Общество с ограниченной ответственностью «КАН»,
РФ, Республика Башкортостан, г. Уфа
E-mail: kan-ufa@mail.ru

Колобов Николай Сергеевич

главный инженер, Общество с ограниченной ответственностью «КАН»,
РФ, Республика Башкортостан, г. Уфа
E-mail: kan-ufa@mail.ru

Старостина Екатерина Александровна

начальник отдела разработки и экспертизы промышленной
безопасности проектной документации и иной документации,
Общество с ограниченной ответственностью «КАН»,
РФ, Республика Башкортостан, г. Уфа
E-mail: kan-ufa@mail.ru

Пестов Александр Владимирович

начальник отдела экспертизы промышленной безопасности
технических устройств, зданий и сооружений,
Общество с ограниченной ответственностью «КАН»,
РФ, Республика Башкортостан, г. Уфа
E-mail: kan-ufa@mail.ru

Кайсарова Евгения Анатольевна

эксперт отдела экспертизы промышленной безопасности
технических устройств, зданий и сооружений,
Общество с ограниченной ответственностью «КАН»,
РФ, Республика Башкортостан, г. Уфа
E-mail: kan-ufa@mail.ru

Кондрацкий Вадим Дмитриевич

ведущий инженер, ООО НПЦ «УралЭнергоРесурс»,
РФ, Республика Башкортостан, г. Уфа
E-mail: uernpc@rambler.ru

EVENT PLANNING ON LOCALIZATION AND ACCIDENT MANAGEMENT AT HAZARDOUS INDUSTRIAL FACILITIES

Andrey Kolobov

*director of LLK “KAN”,
Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa*

Nikolay Kolobov

*chief Engineer of LLK “KAN”,
Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa*

Ekaterina Starostina

*head of Development and Safety Expert Review of Project Documentation
and Other Documents Division of LLK “KAN”,
Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa*

Alexander Pestov

*head of Safety Expert Review of Technical Devices,
Buildings and Constructions Division of LLK “KAN”,
Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa*

Evgeny Kaysarova

*expert of Safety Expert Review of Technical Devices,
Buildings and Constructions Division of LLK “KAN”,
Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa*

Vadim Kondratsky

*lead engineer LLC SPC “UralEnergResurs”,
Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa*

АННОТАЦИЯ

Статья раскрывает порядок осуществления планирования мероприятий по локализации и ликвидации аварий на опасных производственных объектах.

ABSTRACT

The article reveals the procedure for event planning on localization and accident management at hazardous industrial facilities.

Ключевые слова: авария; ликвидация; локализация; опасные производственные объекты; план мероприятий по локализации и ликвидации аварий.

Keywords: accident; rectification; localization; hazardous industrial facilities; event planning on localization and accident management.

В настоящее время в отношении организаций, эксплуатирующих опасные производственные объекты, действующим законодательством установлена обязанность по планированию и осуществлению мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на опасном производственном объекте в целях обеспечения готовности к действиям по локализации и ликвидации аварий.

Планирование указанных мероприятий должно осуществляться путем разработки и утверждения планов мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах (далее – планы мероприятий).

Порядок разработки и содержание планов мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий установлены требованиями [2].

Согласно [2], планы мероприятий должны разрабатываться в отношении объектов, зарегистрированных в государственном реестре опасных производственных объектов Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. Также установлен срок действия планов мероприятий в зависимости класса опасного производственного объекта.

Если организация эксплуатирует на одном земельном участке или на смежных земельных участках несколько (два и более) опасных производственных объектов, то допускается разрабатывать единый план мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий. В этом случае, если объекты имеют разный класс опасности, срок действия плана мероприятий устанавливается равным наименьшему сроку действия в отношении этих объектов.

В соответствии с требованиями [2], предусмотрена разработка планов мероприятий со следующей структурой:

1) Общие разделы.

Общие разделы планов мероприятий должны содержать характеристику объектов, для которых разрабатывается план мероприятий, возможные сценарии возникновения и развития аварий на объектах, места возникновения аварий, характеристики аварийности и травматизма на объектах.

Обобщая опыт разработки и применения планов мероприятий, можно рекомендовать включать в общие разделы такие данные, как принципиальные технологические схемы объекта, аппаратурное оформление, характеристики опасных веществ, обращаемых на объекте, количество и распределение опасных веществ, сведения о персонале на объекте.

Для определения возможных сценариев возникновения и развития аварий следует учитывать свойства обращающихся опасных веществ, технологические параметры производственного процесса, основываясь на анализе произошедших аварий на аналогичных объектах.

2) Специальные разделы.

Специальные разделы планов мероприятий должны разрабатываться на основании данных, содержащихся в общих разделах, и определять порядок действий в случае аварии на объекте.

В специальных разделах предусматривается необходимое и достаточное количество сил и средств, используемых для локализации и ликвидации последствий аварий на объекте, соответствие имеющихся на объекте сил и средств задачам ликвидации последствий аварий и требованиям промышленной безопасности, а также необходимость привлечения профессиональных аварийно-спасательных формирований.

Следует отметить важность разрабатываемого документа, так как с его помощью, в случае возникновения аварии на объекте, можно будет быстро ликвидировать последствия аварии, минимизировать потери и затраты материальных ресурсов. В плане мероприятий должны содержаться прямые указания для собственника опасного производственного объекта, как действовать в случае аварии, какие меры предпринимать в первую очередь, с какими организациями и ведомствами взаимодействовать.

Кроме того, наличие действующего согласованного плана мероприятий является одним из важных условий для получения лицензии Ростехнадзора на эксплуатацию опасных производственных объектов, или для успешного прохождения плановых проверок Ростехнадзора.

Как правило, планы мероприятий утверждаются руководителем (либо техническим директором) предприятия, эксплуатирующего опасный производственный объект, и согласовываются руководителями профессиональных аварийно-спасательных служб, с которыми у эксплуатирующей организации заключен договор на обслуживание объектов.

Список литературы:

1. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (с изменениями на 13.07.2015) // Курьер. Еженедельник официальной информации (приложение к «РВ») № 22, 29.07.97 Ведомости Федерального Собрания Российской Федерации № 24, 21.08.97 Собрание законодательства Российской Федерации, № 30, 28.07.97, ст. 3588 Российская газета, № 145, 30.07.97.
2. Положение о разработке планов мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах. Утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 26 августа 2013 г. № 730.

СЕКЦИЯ

«ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ»

КОМПАКТНАЯ СИСТЕМА ОХРАНЫ И ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ НА БАЗЕ ОДНОПЛАТНОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО КОМПЬЮТЕРА

Валев Олег Владимирович

*канд. техн. наук, доц. кафедры информационных технологий
и приборостроения Московского Государственного Университета
Информационных Технологий, Радиотехники и Электроники
(МИРЭА), филиал, РФ, г. Сергиев Посад
E-mail: valev_oleg@mail.ru*

COMPACT SYSTEM SECURITY AND SURVEILLANCE ON THE BASIS OF MULTI-PURPOSE SINGLE-BOARD COMPUTER

Oleg Valev

*candidate of Sciences, associate Professor of information
Technology and Instrument engineering Department,
Moscow State University Information Technology,
Radio engineering and Electronics (MIREA), the branch,
Russia, Sergiev Posad*

АННОТАЦИЯ

В настоящей статье рассмотрен вопрос организации бюджетной многоканальной охранной системы на базе одноплатного компьютера семейства “Raspberry PI”, которая способна решать весь спектр функций, связанных с регистрацией изображений видеок кадров с движущимся объектом, SMS-оповещением, передачей полученных видеоданных на электронный адрес, возможностью оперативного наблюдения охраняемого объекта со смартфона, а также удаленную настройку системы и постановку объекта на охрану.

ABSTRACT

In this article presents the issue of the organization of multi-channel economical security system based on single-board computer family “Raspberry PI”, which is able to solve the whole range of functions relating to the registration of images with a moving object, SMS-alert, transmission of the obtained video data to the email address, the possibility of operative monitoring of a guarded object with smartphone, remote system configuration and arming of the object.

Ключевые слова: Raspberry PI; одноплатный компьютер; охранная система.

Keywords: Raspberry PI; single-board computer; guard system.

Введение. Несмотря на большое разнообразие охранных систем и комплексов, существующих в данный момент на рынке, очень малая часть вполне может оказаться актуальной для применения в квартирных помещениях и небольших офисах по ряду причин, в том числе и финансовым. Решение, которое предлагается в данной статье, по сути, предусматривает возможность использования тех аппаратных компонент, которые изначально были задействованы для решения другого круга задач. Так, например, функции охранной системы мог бы взять на себя мультимедийный сервер, который используется в домашних условиях для хранения и раздачи видеofilмов, музыкальных композиций и фотоизображений.

Аппаратная конфигурация. Одноплатный компьютер семейства “Raspberry”, а точнее одна из его последних модификаций “2B”, в качестве центрального звена системы выбран не случайно. Он относительно прост в эксплуатации, имеет «на борту» 4 вычислительных ядра “Cortex A7” с частотой 900 МГц, что с вполне достаточно для решаемой проблемы, 1 Гб оперативной памяти и, что не маловажно, 4 USB-порта. Кроме того, он обеспечен поддержкой со стороны известных разработчиков Linux-дистрибутивов операционных систем (ОС), а стоимость используемой модели варьируется, по наблюдениям автора, в пределах 35–45 долларов США вместе с блоком питания и картой памяти. Добавьте к вышеуказанному до 4-х вебкамер (по одной на каждый USB-порт) и получите окончательную стоимость всей системы.

Ниже, в таблице 1, приведены конфигурация и основные технические характеристики одноплатного компьютера “Raspberry PI 2B”, а на рисунке 1 продемонстрирован состав и схема взаимодействия

основных аппаратных и программных средств системы видеонаблюдения.

Таблица 1.

Основные технические характеристики “Raspberry PI 2B”

№ п.п.	Обозначение	Значение
1	Аппаратная платформа	ARM 11 (ARM v7)
2	Название и частота процессора	Cortex7 (4 ядра), 900 МГц
3	Оперативная память	1024 Мб
4	Запоминающее устройство	microSD, объемом до 32 Гб
5	Коммуникационные возможности	USB, Ethernet, HDMI, GPIO, I2C, Wi-Fi и т. д.
6	Операционная система	Raspbian, Pidora, RISC OS, OSMC, FreeBSD, Archlinux ARM и т. д.
7	Электропитание	microUSB, 5В, от 700 мА до 2000 мА
8	Вес	45 г
9	Размер	85,6 × 53,98×17 мм

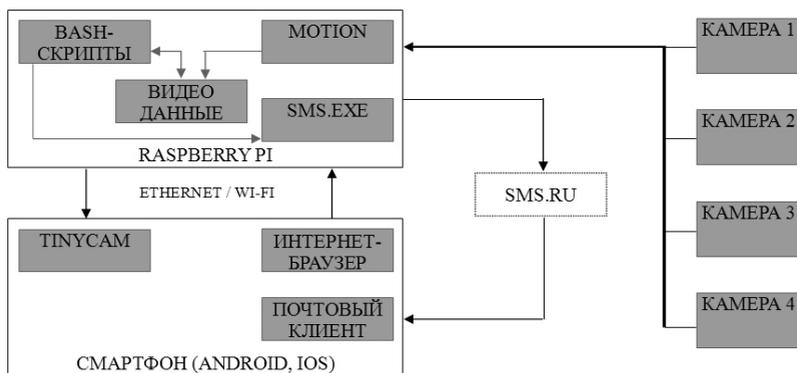


Рисунок 1. Структурная схема системы видеонаблюдения

Программное обеспечение. Текущему разделу настоящей статьи отводится главенствующая роль. Здесь отражены сведения обо всех инструментах, используемых в организации предмета разработки. Их состав, из числа программного обеспечения (ПО) и дополнительных сервисов, предусматривает наличие нескольких компонент. Среди них можно выделить некоторые базовые компоненты, такие как ОС “Raspbian”, видеосервер “motion” [1; 3], web-сервис “SMS.RU” [4] и исполнительная среда “mono-runtime” проекта “mono” [2], а можно выделить набор прикладных задач,

реализованных в виде скриптов и программ. Для всех прикладных программ, упоминаемых в статье, предусмотрены авторские названия, которые могут быть с легкостью изменены на любые другие.

Первое, на что бы я обратил внимание из прикладных программных средств – это программа “SMS.exe” (сокращенно от “Send Mail and Sms”). Она играет роль постобработчика результата деятельности видеосервера “motion” и содержит необходимый код для взаимодействия с web-сервисом “SMS.RU” – для отправки коротких сообщений на выбранный сотовый номер, а также код для взаимодействия с почтовым сервером – для отправки видеоряда на электронный адрес.

Огромной положительной чертой сервера “motion” является то, что он «умеет» при наступлении определенных событий вызывать скриптовые программы на языке “perl”. Скрипт “exec_1.pl”, используемый в системе видеонаблюдения и написанный на отмеченном языке, вызывается в момент обнаружения движения независимо от того, на какой камере оно имело место. Скрипт содержит команду для запуска программы “SMS.exe” и параметры отправки короткого сообщения: “system (“mono SMS.exe 1 <номер абонента> <интернет-браузер>”)”. Здесь и далее, значения параметров, заключенных в скобки <> являются подставными и требуют явного указания.

Скрипты “exec_2.pl”, “exec_3.pl”, “exec_4.pl”, “exec_5.pl” используются для запуска все той же программы “SMS.exe”, но при этом задействуют ту ее «часть кода», которая отвечает за отставку видеоряда на электронный почтовый адрес. Каждый скрипт «закреплен» за своей камерой (4 камеры – 4 скрипта), и вызывается через установленное время (параметр настраивается) после начала зафиксированного движения. Общее представление команд отмеченных скриптов имеет один и тот же вид и может отличаться только значениями параметров, требующих подстановки:

```
system (“mono SMS.exe 2 <номер камеры> <электронный адрес>  
<тип фалов [avi|jpg]>”);
```

```
system (“/upload <интернет-браузер> <номер камеры>”).
```

Как видно из представленного текста скрипта, помимо команды, регламентирующей отправку видеоряда (видео формата “avi”, или набор изображений “jpg”, составляющих отмеченный видеоряд) на электронную почту, имеется также еще одна команда. Эта команда, очевидно, отвечает за запуск скрипта “upload”, разработанного при помощи языковых средств командного интерпретатора “bash” [5],

и передает ему параметры с наименованием интернет-браузера и номера камеры:

```
pid=$(ps -e | grep $1)
if [[ -n $pid ]] then
  kill -9 $pid &
case $2 in
  1) /home/pi/motion/script/clear_cam <количество jpg-файлов>
<количество avi-файлов> <номер камеры>; exit 0;
  2) /home/pi/motion/script/clear_cam <количество jpg-файлов>
<количество avi-файлов> <номер камеры>; exit 0;
  3) /home/pi/motion/script/clear_cam <количество jpg-файлов>
<количество avi-файлов> <номер камеры>; exit 0;
  4) /home/pi/motion/script/clear_cam <количество jpg-файлов>
<количество avi-файлов> <номер камеры>; exit 0;
*) exit 0;
esac
fi
```

Сведения о браузере необходимы для того, чтобы не «плодить» его копии и своевременно выгружать из памяти, так как событий, связанных с регистрацией движений может быть предостаточно, и все они используют интернет-проводник для отправки сообщений через web-сервис “SMS.RU”. О том, каким образом организуется отправка, можно более подробно почитать в [3], предварительно зарегистрировавшись на сайте сервиса.

Номер камеры, используемый в скрипте “upload”, передается очередному bash-скрипту “clear_cam” для очистки от устаревших данных связанного с ней каталога. Несомненно, это значит лишь то, что видеoinформация сама по себе является достаточно емким по объему материалом и до бесконечности ее пополнять не получится. Скрипт “clear_cam” удаляет файлы двух предусмотренных форматов (“avi” и “jpg”) из каталогов камер с учетом некоторых пороговых значений, которые он получает наравне с номером камеры из параметров <количество jpg-файлов> и <количество avi-файлов>. Для лучшей наглядности, структуру каталогов системы наблюдения демонстрирует нижеследующий рисунок 2.

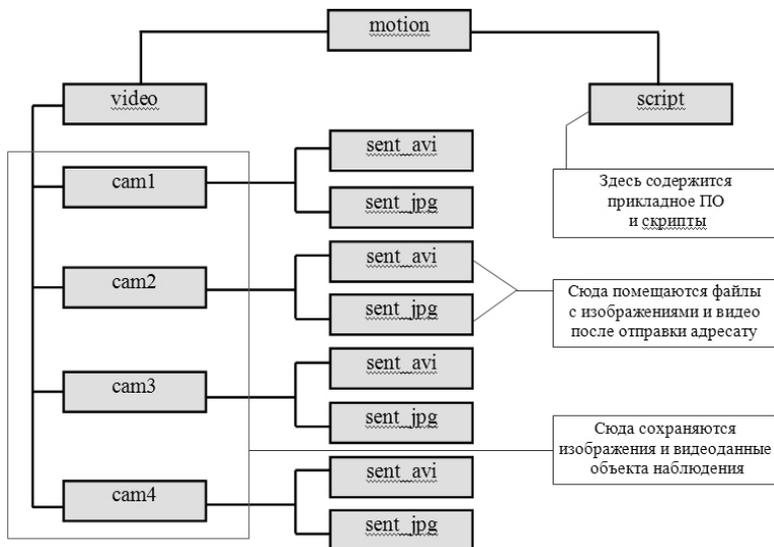


Рисунок 2. Структура каталогов системы видеонаблюдения

Помимо упомянутых охранных функций система предусматривает также возможность просмотра изображений с видеокамер в реальном времени. Для чего необходимо воспользоваться смартфоном на базе ОС “Android” или “IOS” и установить на него одну из многочисленных и бесплатных программ, реализующих поставленную цель. В настоящей статье, на рисунке 1, упоминалось одно из таких приложений под управлением ОС “Android”, которое носит название “TINYCAM”.

Вывод. Подводя краткие итоги вышеизложенному материалу, хотелось отметить, что, все-таки, полноценное функционирование представленной разработки требует, по возможности, постоянного подключения к глобальной информационной сети «Интернет», а также выделенного сетевого адреса, как определяющего фактора доступности объекта наблюдения из любой точки земного шара.

Список литературы:

1. Владимир Л. Сумеречный дозор // Хакер. – 2008 г. – № 03 (111). – С. 98–102.
2. Кроссплатформенная среда “mono” – [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mono-project.com> (Дата обращения: 14.01.2016).

3. Официальная страница разработчика “motion” – [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.lavrsen.dk/foswiki/bin/view/Motion/WebHome> (Дата обращения: 14.01.2016).
4. Официальная страница сервиса “SMS.RU” – [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.sms.ru> (Дата обращения: 16.01.2016).
5. Mendel С., перевод Киселева А. Искусство программирования на языке сценариев командной оболочки – [Электронный ресурс]. – URL: http://www.opennet.ru/docs/RUS/bash_scripting_guide (Дата обращения: 21.01.2016).

ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОННОЙ РАБОЧЕЙ ТЕТРАДИ

Гладышева Мария Михайловна

*доц. каф. вычислительной техники и программирования института
энергетики и автоматизированных систем
ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
РФ, г. Магнитогорск
E-mail: mar.ser.ksuh@gmail.com*

Артамонов Александр Андреевич

*магистр 1 курса института энергетики и автоматизированных
систем ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
РФ, г. Магнитогорск*

Мацко Елена Игоревна

*бакалавр 2 курса института энергетики и автоматизированных
систем ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
РФ, г. Магнитогорск*

COMPARATIVE ANALYSIS SYSTEM MANAGEMENT TEST CASES TASKS AND AUTOMATED TESTING

Maria Gladisheva

*candidate of Science, assistant professor of computer science and
programming Magnitogorsk State Technical University im. G.I. Nosov,
Russia, Magnitogorsk*

Alexander Artamonov

*master 1 degree of energy and automated systems
Magnitogorsk State Technical University im. G.I. Nosov,
Russia, Magnitogorsk*

Elena Matsko

*bachelor 2 degree of energy and automated systems
Magnitogorsk State Technical University im. G.I. Nosov,
Russia, Magnitogorsk*

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрена электронная рабочая тетрадь, как средство интерактивного обучения, а также предложена и разработана модель подобной электронной тетради. Данная модель разработана с целью повышения эффективности процесса обучения, что является актуальным в связи с постоянной информатизацией образовательного процесса в ВУЗах.

ABSTRACT

The article describes an electronic workbook as interactive courseware, and a model of such electronic workbook was proposed and developed. This model is designed to improve the efficiency of learning process which is relevant in connection with the constant information of educational process in university.

Ключевые слова: средства интерактивного обучения, электронная тетрадь, рабочая тетрадь, теоретико-множественный анализ, модель.

Keywords: courseware, electronic workbook, workbook, set set-theoretic analysis, the model.

Интерактивное обучение является одним из актуальных направлений педагогических исследований. Его принципы лежат в основе многих инновационных методов и технологий обучения.

Термин «интерактивность обучения» используется в контексте описания контактов типа «человек – информационная система» и может обозначать использование компьютерной техники в качестве партнера в процессе обучения. Обязательным условием в подобном случае является нелинейная структура программных продуктов, такая структура позволяет пользователю управлять дальнейшим течением процесса, а также реализовывать индивидуальную стратегию деятельности [1].

К сожалению, в настоящий момент большинство дидактических электронных разработок обладают незначительной степенью интерактивности.

Одним из средств реализации принципа интерактивности при обучении в ВУЗах может стать электронная рабочая тетрадь. Это интерактивное учебное средство комплексного назначения, которое является частью образовательного ресурса.

Особенностью использования данного интерактивного учебного средства является учет возрастных, психологических и организационных особенностей, таких как:

- большая по сравнению со школьниками самостоятельность обучаемых;
- мотивация к получению знаний и приобретению необходимых компетенций;
- привычность использования электронной техники и компьютерных технологий;
- лекционно-семинарская форма организации занятий;
- большое количество учебного времени и учебного материала, отведенных для самостоятельной работы [2].

Именно поэтому использование электронных рабочих тетрадей является наиболее целесообразным решением при информатизации процесса обучения.

Для более детального изучения электронной рабочей тетради, как средства обучения, был выполнен теоретико-множественный анализ, в ходе которого были выделены подсистемы и взаимосвязи между ними для модели по визуализации результатов анализа.

Объект исследования: $A = \{A_1, A_2, A_3\}$,

$A_1 =$ «Информационное обеспечение электронной рабочей тетради»;

$A_2 =$ « Математическое обеспечение электронной рабочей тетради»;

$A_3 =$ « Программное обеспечение электронной рабочей тетради»;

Подмножество $A_1 = \{A_{11}, A_{12}, A_{13}\}$,

A_{11} = «Сведения об изучаемом предмете»;

A_{12} = «Сведения о количестве и типах заданий, структуре тетради»;

A_{13} = «Дидактические материалы и выполненные задания с ответами».

Подмножество $A_2 = \{A_{21}, A_{22}\}$,

A_{21} = «Система определения внешних связей и описание их с помощью ограничений, уравнений, равенств, неравенств, логико-математических конструкций»;

A_{22} = «Построение алгоритма, моделирующего поведение объекта, процесса».

Подмножество $A_3 = \{A_{31}, A_{32}, A_{33}, A_{34}, A_{35}, A_{36}\}$,

A_{31} = «Модуль с методическими указаниями, а также необходимыми теоретическими сведениями»;

A_{32} = «Модуль с тренировочными заданиями, сопровождаемыми указаниями к решению, решениями, ответами»;

A_{33} = «Модуль контрольного тестирования»;

A_{34} = «Модуль выполнения не тестовых заданий»;

A_{35} = «Модуль контроля и проверки правильности выполнения контрольных теста и заданий»;

A_{36} = «Модуль предоставления результатов работы».

Результат построения модели представлен на рисунке 1.

Графическое представление и описание объектов системы представлено в таблице 1.

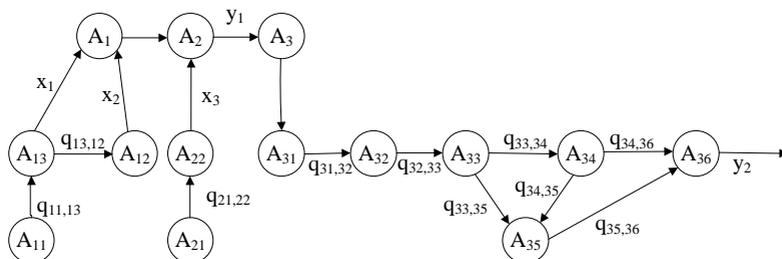


Рисунок 1. Множественная модель объекта исследования

В таблице 2 представлено описание управляющих взаимосвязей между объектами.

Каждый элемент модели характеризуется свойствами. В таблице 3 приведено описание каждого из определенных объектов.

Таблица 1.

Описание элементов объектно-множественной модели

Основное множество	Состав множества	Краткое описание элементов	Графическое представление
A ₁	A ₁₁	Сведения об изучаемом предмете	
	A ₁₂	Сведения о количестве и типах заданий, структуре тетради	
	A ₁₃	Дидактические материалы и выполненные задания с ответами	
A ₂	A ₂₁	Система определения внешних связей и описание их	
	A ₂₂	Построение алгоритма, моделирующего поведение объекта, процесса	
A ₃	A ₃₁	Модуль с методическими указаниями	
	A ₃₂	Модуль с тренировочными заданиями	
	A ₃₃	Модуль контрольного тестирования	
	A ₃₄	Модуль выполнения не тестовых заданий	
	A ₃₅	Модуль контроля и проверки	
	A ₃₆	Модуль предоставления результатов	

Таблица 2.

Описание управляющих взаимосвязей между объектами

Обозначение	Вид потока	Содержание потока
q _{11,13}	Информационный	Сведения об изучаемом предмете
q _{13,12}	Информационный	Сведения о количестве и типах заданий, структуре тетради
q _{21,22}	Информационный	Построение алгоритма, моделирующего поведение объекта и описание их с помощью ограничений, уравнений
q _{31,32}	Электронный	Изучение методических материалов
q _{32,33}	Электронный	Переход в модуль решения тестовых задач
q _{33,34}	Электронный	Переход в модуль решения не тестовых задач
q _{33,35}	Электронный	Передача ответов на тест в модуль проверки
q _{34,35}	Электронный	Передача ответов на задачи в модуль проверки
q _{34,36}	Электронный	Переход в модуль отображения результатов
q _{35,36}	Электронный	Передача результатов в модуль отображения результатов

Таблица 3.

Описание объектов модели

Объект	Свойство	Описание свойства
A ₁₂	Z ₁₂	Z ₁₂₁ = количество заданий; Z ₁₂₂ = тип задания.
A ₁₁	Z ₁₁	Z ₁₁₁ = геометрические размеры; Z ₁₁₂ = интенсивность охлаждения.
A ₁₃	Z ₁₃	Z ₁₃₁ = сложность задания; Z ₁₃₂ = виды задания.
A ₂₁	Z ₂₁	Z ₂₁₁ = количество ограничений;
A ₂₂	Z ₂₂	Z ₂₂₁ = корректность алгоритма; Z ₂₂₂ = скорость алгоритма.
A ₃₁	Z ₃₁	Z ₃₁₁ = полнота информации;
A ₃₂	Z ₃₂	Z ₃₂₁ = количество заданий; Z ₃₂₂ = полнота решения.
A ₃₃	Z ₃₃	Z ₃₃₁ = количество заданий; Z ₃₃₂ = сложность заданий; Z ₃₃₃ = время на решение; Z ₃₃₄ = количество вариантов ответа.
A ₃₄	Z ₃₄	Z ₃₄₁ = количество заданий; Z ₃₄₂ = сложность заданий; Z ₃₄₃ = время на решение.

Объект	Свойство	Описание свойства
A ₃₅	Z ₃₅	Z ₃₅₁ = корректность алгоритма проверки.
A ₃₆	Z ₃₆	Z ₃₆₁ = графическое отображение результатов; Z ₃₆₂ = табличное отображение.

Для объекта А определены входы $X=\{x_1, x_2, x_3\}$ и выходы $Y=\{y_1, y_2\}$, где x_1 – сведения о количестве и типах заданий, структуре тетради, x_2 – дидактические материалы и выполненные задания с ответами, x_3 – информация о построении математического алгоритма, y_1 – информация о структуре и содержании электронной рабочей тетради, y_2 – информация о результатах прохождения материала рабочей тетради.

Таким образом, на основе теоретико-множественного анализа электронной рабочей тетради в работе выполнено определение основных объектов системы, выявлена их структура, свойства и определены все возможные взаимодействия между ними.

Список литературы:

1. Ватолкина Н.Ш. Управление инновационными образовательными технологиями в системе менеджмента качества вуза / Н.Ш. Ватолкина – Самара: Изд-во Самар. гос. экон. ун-та, 2009. – 78 с.
2. Теоретико-множественный анализ сложной системы: методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Управление в социальных и экономических системах» для студентов направления 230100.68 «Информатика и вычислительная техника». – Магнитогорск: изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. – 25 с.
3. Логунова О.С. Теория и практика обработки экспериментальных данных на ЭВМ / О.С. Логунова, Е.А. Ильина, Ю.Б. Кухта, Л.Г. Егорова, Д.В. Чистяков. – Магнитогорск: изд-во Магнитогорск. гос. ун-та им Г.И. Носова, 2015. – 276 с.

СЕКЦИЯ

«МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ»

СРАВНЕНИЕ СВОЙСТВ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПРЕСС-ФОРМ ЛИТЬЯ ПОД НИЗКИМ ДАВЛЕНИЕМ

Косович Александр Александрович

аспирант Сибирского федерального университета,
РФ, г. Красноярск
Email: a-herz@mail.ru

Гильманишина Татьяна Ренатовна

канд. техн. наук, доц. Сибирского федерального университета,
РФ, г. Красноярск
Email: gtr1977@mail.ru

Богданова Татьяна Александровна

канд. техн. наук, начальник металлургического отдела ООО «КиК»,
РФ, г. Красноярск
Email: bat@kandk.ru

Партыко Евгений Геннадьевич

аспирант Сибирского федерального университета,
РФ, г. Красноярск
Email: elforion@mail.ru

COMPARISON OF PROPERTIES OF RELEASE COATINGS FOR DIE MOLD OF LOW-PRESSURE CASTING

Aleksandr Kosovich

*postgraduate of Siberian Federal University,
Russia, Krasnoyarsk*

Tatiana Gilmanshina

*candidate of Science, associate professor of Siberian Federal University,
Russia, Krasnoyarsk*

Tatiana Bogdanova

*candidate of Science, chief of Metallurgical department of K&K ltd,
Russia, Krasnoyarsk*

Evgeny Partyko

*postgraduate of Siberian Federal University,
Russia, Krasnoyarsk*

АННОТАЦИЯ

В работе определены свойства разрабатываемых разделительных покрытий для пресс-форм литья под низким давлением. Приведены результаты сравнения с зарубежными составами, применяемыми в производстве легкосплавных колес. Показана перспективность дальнейшей разработки и внедрения эффективных импортозаменяющих покрытий.

ABSTRACT

In the paper properties of developed release coatings for die mold of low-pressure casting are defined. Results of comparison with foreign compositions applied in production of light-alloy wheels are given. Prospects of further development and deployment of effective import-substituting coatings are shown.

Ключевые слова: импортозамещение; разделительное покрытие; литье под низким давлением; пресс-форма; легкосплавные колеса; жидкотекучесть.

Keywords: import-substitution; release coating; low-pressure casting; die mold; light-alloy wheels; castability.

Литье под низким давлением – наиболее перспективный способ производства автомобильных колес из алюминиевых сплавов. Наряду

с высоким качеством отливок его отличают высокая производительность и широкие возможности по механизации и автоматизации процесса. Однако недостатком данного способа является так называемая свободная, ненаправленная кристаллизация, вынуждающая конструкторов делать стенки колес достаточно толстыми, чтобы обеспечить требуемую механическую прочность [1].

Одно из основных решений данной проблемы заключается в использовании специальных покрытий пресс-форм с заданными физико-химическими свойствами. Разделительный слой покрытия на формообразующей поверхности не только позволяет регулировать теплообмен между расплавом и матрицей, тем самым способствуя созданию фронта направленной кристаллизации, но и препятствует контакту металла с материалом формы. Последнее уменьшает негативное воздействие термических и гидродинамических ударов, снижает риск образования и роста трещин (сетки разгара), увеличивает срок службы пресс-формы.

Для обеспечения постоянства технологического процесса и получения качественных отливок, используемые покрытия пресс-форм должны обладать установленным уровнем свойств. Характерные свойства суспензионных красок представлены на рис. 1.



Рисунок 1. Свойства литейных покрытий [2]

С целью совершенствования технологии подготовки пресс-форм литья колес под низким давлением, было проведено сравнение уровня свойств и эффекта, оказываемого на качество отливок, разрабатываемыми разделительными покрытиями (КП80, КПТ110) с показателями серийного (D1) и пробного (H1) зарубежных составов, используемых на ООО «КиК».

Результаты определения свойств покрытий, полученные в лабораториях ИЦМиМ СФУ согласно ГОСТ 10772-78, представлены в табл. 1. При этом влияние покрытий на жидкотекучесть сплава АК12 установлено измерением отливок, получаемых в спиральной пробе по ГОСТ 16438-70, а их теплопроводность при заливке расплава (710°C) по методу лазерной вспашки с помощью установки LFA 457 MicroFlash.

Таблица 1.
Сравнение свойств покрытий

Свойство	Покрытие			
	Германия	Англия	Разрабатываемые составы	
Обозначение	H1	D1	КП80	КПТ110
Степень разбавления	4:1	6:1	5:1	
Плотность, кг/м ³	1075	1070	1080	
Вязкость, с	10			
Седиментационная устойчивость, % отметки через, ч:				
0,5	100	55	83	84
1	99	15	71	72
3	99	8	31	12
7	99	8	10	12
24	98	8	7	11
Приведённая прочность, г/мм	7830	8780	8850	40290
Жидкотекучесть АК12, см	45	43	34	54
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К)	0,193	0,346	0,612	0,588

Как видно из таблицы, по своим свойствам состав КПТ110 является оптимальным из предложенных. Он обладает повышенной на 21 % седиментационной устойчивостью, в 4,5 раза большей

приведенной прочностью, а также положительно влияет на жидкотекучесть металла – прирост до 11 см.

Различие во влиянии покрытий на жидкотекучесть силумина обусловлено не только их теплофизическими свойствами, но также шероховатостью и структурой разделительного слоя на поверхности формы.

Опытно-промышленные испытания разрабатываемых покрытий на ООО «КиК» при использовании состава КП80 показали увеличение выхода годного при литье колеса выбранной модели с 95,44 до 96,56 %. Результатом испытания состава КПТ110 стало увеличение выхода годного для двух моделей колес диаметром 17`` от 1,53 до 4,11 %, а для модели колеса диаметром 18`` – 10,35 %.

При этом, по предварительным расчетам, КПТ110 обладает в 3 раза меньшей себестоимостью, чем серийно используемый зарубежный аналог.

Таким образом, в результате проведенной работы определены свойства разделительных покрытий, применимых для литья под низким давлением. Сравнение показателей серийного, пробного и разрабатываемых составов показало перспективность разработки и внедрения в производство эффективных импортозамещающих покрытий, позволяющих продлить срок службы пресс-форм и улучшить качество легкосплавных колес.

Список литературы:

1. Богданова Т.А., Довженко Н.Н., Гильманшина Т.Р., Баранов В.Н., Чеглаков А.В., Меркулова Г.А., Лыткина С.И., Худоногов С.А., Косович А.А., Паргыко Е.Г. Современные технологии изготовления дисков автомобильных колес // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15005> (Дата обращения: 10.02.2016).
2. Сварика А.А. Покрытия литейных форм. Москва: Машиностроение, 1977. – 216 с.

СЕКЦИЯ

«МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ»

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ ПРОФИЛЯ ДОРОЖЕК КАЧЕНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Четвериков Борис Сергеевич

аспирант кафедры «Технология машиностроения»,

БГТУ им. В.Г. Шухова,

РФ, г. Белгород

E-mail: await_rescue@mail.ru

Дуганов Владимир Яковлевич

канд. техн. наук, доц. кафедры «Технология машиностроения»,

БГТУ им. В.Г. Шухова,

РФ, г. Белгород

Архипова Надежда Алексеевна

доц. кафедры «Технология машиностроения», БГТУ им. В.Г. Шухова,

РФ, г. Белгород

INFLUENCE OF PARAMETERS OF ACCURACY PROFILE RACEWAYS TO WEARABILITY DRILLING TOOLS

Boris Chetverikov

postgraduate student, Department of Mechanical Engineering,

BSTU named after V.G. Shukhov,

Russia, Belgorod

Vladimir Duganov

candidate of technical sciences, the associate professor of Department

of Mechanical Engineering, BSTU named after V.G. Shukhov,

Russia, Belgorod

Nadezhda Arhipova

the associate professor of Department of Mechanical Engineering,

BSTU named after V.G. Shukhov,

Russia, Belgorod

Работа выполнена в рамках гранта: «Проект ПСР № 2011-ПР-146», договор № А-28/15 от 14.04.2015 г.

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены вопросы, связанные с необходимостью контроля изделий в машиностроении, в частности, деталей бурового инструмента. Дано обоснование использования контроля отдельных элементов буровых долот, в особенности, дорожки качения подшипникового узла. Таким образом, одним из главных параметров, влияющих на работоспособность и износостойкость долота, является точность формы профиля дорожки качения, которую необходимо проконтролировать.

ABSTRACT

The questions related to the need to control products in mechanical engineering, in particular, details of the drilling tool. The substantiation of the use of the control of individual elements of drill bits, in particular, the raceway of the bearing assembly. Thus, one of the main parameters that affect the performance and durability of the bit, is the accuracy of profile shape raceway, which must be checked.

Ключевые слова: буровое долото, дорожка качения, контроль, конечно-элементный анализ.

Keywords: drill bit, raceway, control, finite element analysis.

Согласно п. 4.4. ГОСТ 20692-2003 [2] к конструкции подшипниковых узлов буровых шарошечных долот предъявляются требования, позволяющие обеспечить надёжность и износостойкость инструмента. Но сама конструкция долота не рассматривается, по этой причине производители инструмента самостоятельно определяют требования к выполняемым поверхностям деталей, входящих в сборку изделия. При этом на надёжность и долговечность работы бурового инструмента влияет и точность изготовления непосредственно дорожек качения подшипниковых узлов. Так, например, на рис. 1 представлен фрагмент конструкции бурового трёхшарошечного долота одного из российских производителей. На рис. 1, соответственно, обозначены: 1 – корпус лапы, 2 – корпус шарошки, 3 – пята, 4 – опора, 5 – зубок основной, 6 – ролик малый, 7 – шарик, 8 – зубок вспомогательный, 9 – ролик, 10 – штифт, 11 – замок.

Требования, изложенные в ГОСТ [2] обеспечиваются точностью выполнения соответствующих размеров узла лапы. Вращение шарошки с допустимыми биениями обеспечивают соответствующие

подшипниковые узлы на телах качения. Согласно рис. 1 к дорожкам качения этих подшипниковых узлов предъявляются высокие требования по выполнению размеров, а для узла, выполненного на шариках, к точности выполнения формы дорожки. Так как, по мнению авторов, именно он является замковым узлом, на который при погрешности формы могут действовать неравномерные нагрузки, вызывающие деформацию поверхности качения шарика, с последующим появлением биений. Выполним анализ нагрузки изделия с использованием метода конечных элементов.

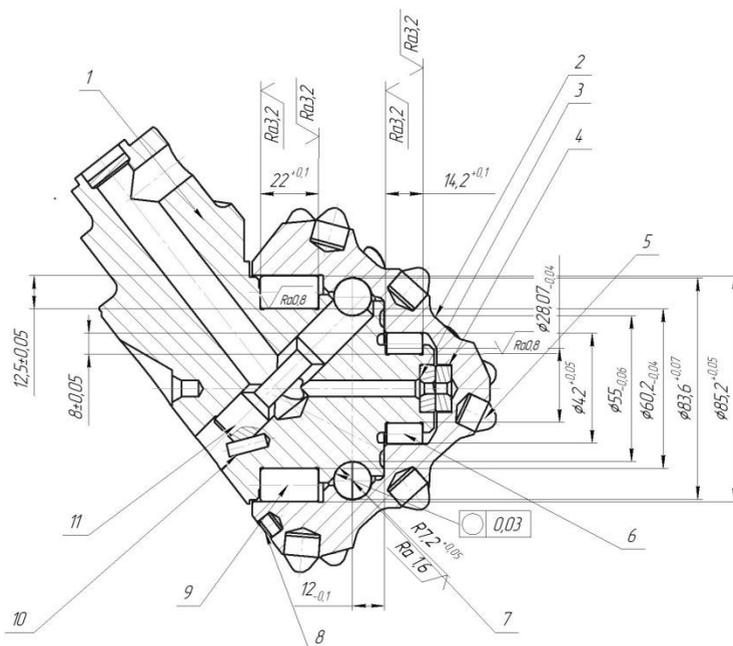


Рисунок 1. Лапа в сборе

Поскольку настоящая работа выполнялась на кафедре «Технология машиностроения» БГТУ им. В.Г. Шухова, то авторы использовали имеющийся опыт кафедры в выполнении конечно-элементного анализа различных конструкций технологического оборудования.

Для начала, была получена 3D модель и загружена в пакет конечно-элементного анализа, затем назначены материал деталей конструкции, ограничения и нагрузки [3]. Далее были назначены

контактные поверхности и выполнено наложение сетки конечных элементов [5]. Расчет деформаций производим с целью установления наиболее нагруженных поверхностей детали, так как в ГОСТ [2] не обозначены требования, предъявляемые к профилю дорожки качения, которая является основным элементом в лапе, воспринимающим напряжения, возникающие в процессе бурения. Результаты расчёта представлены на рис. 2.

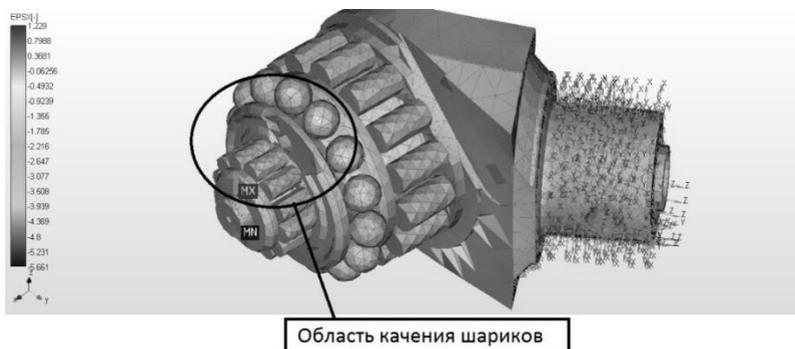


Рисунок 2. Деформации в лапе бурового долота

Объёмная модель узла бурового долота выполнена с соблюдением всех требований, приведенных на рис. 1, следовательно, распределение деформаций на поверхности дорожки качения и шарике будет равномерным. Если присутствует искажение формы, то один из вариантов контакта деталей представлен на рис. 3.

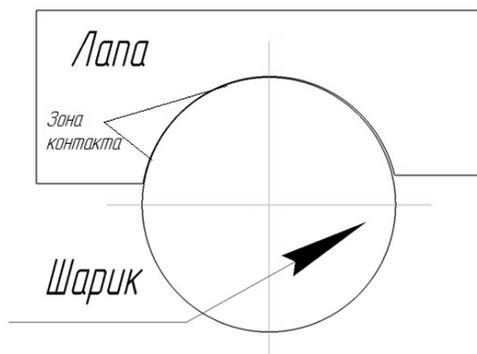


Рисунок 3. Смещение шарика из-за погрешности формы дорожки качения

Стрелками на рис. 3 выделены начало и конец зоны контакта, следовательно, нагрузка, которая в идеальном случае прилагалась ко всему профилю дорожки, будет приложена к профилю меньшему по размерам более чем в два раза. А, радиус увеличен всего 0,06 мм, т. е. незначительно вышел за пределы допуска. Согласно теории упругости, можно решить задачу Г. Герца [1], однако большее влияние на долговечность долота в этом случае оказывают не упругие деформации, которые приведут к полному контакту, а повышенный износ в области контакта. Это может привести к быстрой потере профиля дорожки и наружной поверхности шарика, т. е. к появлению зазора и увеличению осевого биения шарошек, например, для долота, предназначенного для бурения твёрдых пород – всего 0,6 мм [2].

Выход из этой ситуации, по мнению авторов, в организации 100 % контроля канавок качества корпусов лап и шарошек буровых долот, а с целью сокращения временных затрат этот контроль должен быть автоматизированным [6]. Управляемым параметром является глубина резания на операции доводки профиля [4].

Список литературы:

1. Аргатов И.И. К решению двумерной задачи Герца // Прикладная механика и техническая физика. – 2001. – Т. 42. – № 6. – С. 166–176.
2. ГОСТ 20692-2003. Долота шарошечные. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 2003.
3. Дуганов В.Я., Чепчуров М.С., Серов В.В. О деформациях бандажей цементных печей при их механической обработке // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2005. – № 11. – С. 309.
4. Погонин Д.А., Четвериков Б.С., Чепчуров М.С. Реализация алгоритма управления приводами нестационарных станочных модулей // «Сборник научных трудов SWorld». Материалы международной научно-практической конференции «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2013». – № 4. Том 8. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. – С. 94–100.
5. Чепчуров М.С., Афанасова Ю.А. Моделирование ударного взаимодействия режущей части инструмента с деталью // Технология машиностроения. – 2010. – № 1. – С. 16–18.
6. Четвериков Б.С., Чепчуров М.С. Автоматизация процесса оценки точности канавки катания при изготовлении лапы бурового долота // Информационные системы и технологии. – 2015. – № 4. – С. 82–89.

ОПТИМИЗАЦИОННО-МЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ШАРНИРНОГО ЧЕТЫРЕХЗВЕННИКА

Бейсенов Нурлан Камелович

*магистр естественных наук, старший преподаватель кафедры
транспорта и профессионального обучения
Карагандинского государственного университета им. Е.А. Букетова,
Республика Казахстан, г. Караганда
E-mail: nurlan1965@list.ru*

METRIC OPTIMIZATION DESIGN OF ARTICULATED FOUR-BAR LINKAGE

Nurlan Beisenov

*master of Science, senior lecturer of department of transportation
and professional education of E.A. Buketov Karagandy State University,
Kazakhstan, Karagandy*

АННОТАЦИЯ

Целью работы является получение приближенной шатунной кривой в виде наклонного эллипса шарнирного четырехзвенника. Предложенный алгоритм расчета проектных параметров механизма базируется на использовании методов оптимизации с применением компьютерной техники. Обоснована корректность и пригодность разработанной программы расчета оптимальных выходных параметров механизма по заданной шатунной кривой не только в виде наклонного эллипса, но и в виде окружности.

ABSTRACT

The objective of the work is the attainment of an approximate coupler curve in the form of an inclined ellipse of an articulated four-bar linkage. The suggested calculation algorithm of output mechanism parameters is based on the utilization of design methods using computer technology. The correctness and suitability of the created calculation program of optimal output mechanism parameters by the assigned coupler curve is substantiated not only in the form of an inclined ellipse, but also in the form of a circle.

Ключевые слова: шарнирный четырехзвенник; шатунная кривая; выходные параметры синтеза.

Keywords: articulated four-bar linkage; coupler curve; output design parameters.

Задача о построении механизма, который сможет удовлетворить всем наперед заданным условиям, издавна и по сей день интересует механиков. В сущности, она является одной из главнейших, если не самой главной, в кинематике механизмов. Проектирование любого механизма начинается с проектирования его схемы и определения постоянных параметров выбранной схемы механизма по заданным его свойствам. Оптимизация искомых параметров механизма с использованием современной компьютерной техники дает реальную возможность перебора вариантов случайных величин и решить любую задачу синтеза плоских механизмов.

Постановка задачи. В предлагаемой работе ставится задача получения приближенной шатунной кривой (траектории точки M) в виде наклонного эллипса шарнирного четырехзвенника, показанного на рисунке 1, удовлетворяющего условию существования кривошипа $(a+d) \leq (b+c)$, при наложенных ограничениях на длины звеньев. В качестве проектных параметров оптимизации предлагается выбрать размеры звеньев механизма (a, b, c, f) при определенном значении расстояния между опорами d , а выбор оптимального решения проводить с помощью целевой функции, определяемой проектными параметрами.

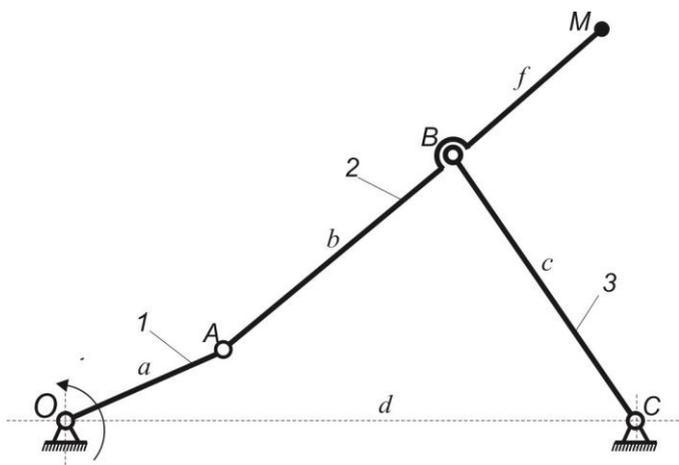


Рисунок 1. Синтезируемый шарнирный четырехзвенник.
1 – кривошип, 2 – шатун, 3 – коромысло

Ограничения. Первое ограничение – ограничение на длины звеньев a , b , c и d . Для того, чтобы в шарнирном четырехзвеннике не было слишком больших или слишком малых длин звеньев выбираем четыре положительных числа, удовлетворяющих условиям $a < b < c < d$, $d/a \leq m$.

Второе ограничение – шарнирный механизм должен быть кривошипно-коромысловым, то есть должно выполняться условие $(a + d) \leq (b + c)$.

Третье ограничение – угол давления на коромысло со стороны шатуна должен быть меньше допустимого значения $\vartheta < \vartheta_{дон}$, где $\vartheta_{дон} = 45^\circ - 60^\circ$.

Выбор метода оптимизации. Кинематические параметры четырехзвенного шарнирного механизма будем находить из условия минимума функции численным методом поиска с применением компьютерной техники, а выбор оптимального решения проводить с помощью целевой функции, определяемой выходными параметрами, чтобы сумма квадратов отклонения шатунной кривой точки M от заданной кривой (наклонного эллипса) была наименьшей от центра плоской фигуры. В данном случае отклонения подчиняются нормальному закону распределения, поэтому применение такого численного метода оптимизации позволяет выбрать оптимальные значения выходных параметров и достичь наилучшего варианта конструкции шарнирного четырехзвенника.

Алгоритм вычисления целевой функции. Как видно из рисунка 2, заданное кинематическое свойство механизма состоит в том, что точка M на шатуне шарнирного четырехзвенного механизма должна описывать траекторию, мало отличающуюся от заданной кривой – наклонного эллипса при произвольных координатах его центра (заданы большая полуось a_1 и малая полуось b_1 , угол наклона большой оси φ_1). Так как в данном случае целевая функция является неявной, составить ее в явном виде через искомые параметры синтеза не представляется возможным. Однако можно указать последовательность ее вычисления, то есть составить алгоритм вычисления, чтобы получить Δ (целевая функция) для данной комбинации параметров синтеза шарнирного четырехзвенника.

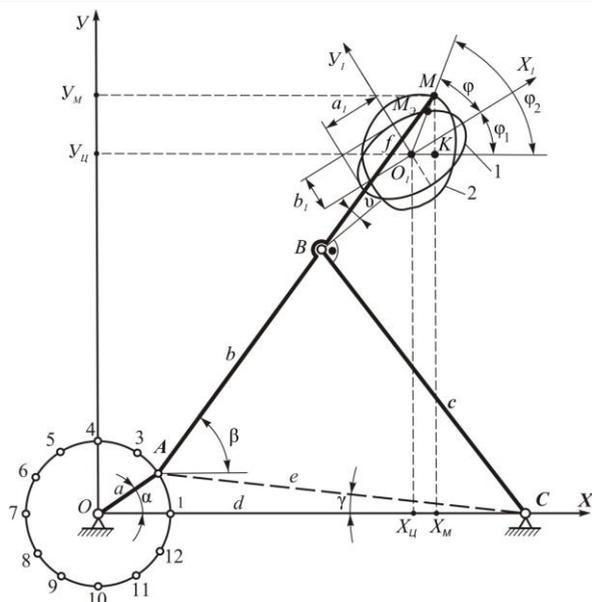


Рисунок 2. Схема плоского четырехзвенного шарнирного механизма. 1 – заданная траектория (наклонный эллипс) точки M на шатуне; 2 – траектория точки M на шатуне при произвольно выбранных выходных параметрах синтеза

Из ΔOAC находим диагональ AC шарнирно-рычажного четырехзвенного механизма

$$e = \sqrt{a^2 + d^2 - 2ad \cos \alpha}. \quad (1)$$

Угол наклона диагонали AC равен

$$\gamma = \arcsin \left(\frac{a}{e} \sin \alpha \right). \quad (2)$$

Из ΔABC находим угол давления на коромысло BC со стороны шатуна AB , при условии, что сила, действующая на коромысло, направлена по оси шатуна

$$g = \arcsin \frac{b^2 + c^2 - e^2}{2bc}. \quad (3)$$

Угол наклона шатуна AB к стойке равен

$$\beta = \arcsin \left(\frac{c}{e} \cos g \right) - \gamma. \quad (4)$$

Проецируя контур $OABM$ на координатные оси составим выражения для нахождения искоемых координат точки M

$$X_M = a \cos \alpha + b \cos \beta + f \cos \beta = a \cos \alpha + (b + f) \cos \beta, \quad (5)$$

$$Y_M = a \sin \alpha + b \sin \beta + f \sin \beta = a \sin \alpha + (b + f) \sin \beta. \quad (6)$$

За один оборот кривошипа угол α меняется от 0 до 2π . Разбиваем траекторию точки A на n равных частей, отсюда следует, что значение угла α будет меняться через каждые $\Delta \alpha$ (рис. 1).

Тогда координаты центра плоской фигуры (шатунной кривой или наклонного эллипса), описываемой точкой M , равны

$$X_{MЦ} = \frac{\sum X_M}{n}, \quad Y_{MЦ} = \frac{\sum Y_M}{n}. \quad (7)$$

После вычисления координат X_M , Y_M , $X_{MЦ}$ и $Y_{MЦ}$ шатунной кривой из ΔO_1MK находим расстояние от центра эллипса O_1 до точки M шатуна

$$O_1M = \sqrt{(X_{MЦ} - X_M)^2 + (Y_{MЦ} - Y_M)^2}. \quad (8)$$

Угол наклона радиуса O_1M к стойке равен

$$\phi_2 = \arctg \left(\frac{Y_{MЦ} - Y_M}{X_{MЦ} - X_M} \right). \quad (9)$$

Тогда угол наклона радиуса O_1M к большой оси эллипса равен

$$\phi = \phi_2 - \phi_1. \quad (10)$$

Расстояние от центра O_1 до соответствующей точки M_3 эллипса (радиус эллипса в данной точке) вычисляется по известной формуле

$$O_1M_3 = \frac{a_1 b_1}{\sqrt{b_1^2 \cos^2 \phi + a_1^2 \sin^2 \phi}}, \quad (11)$$

где: a_1 – большая полуось эллипса;

b_1 – малая полуось эллипса.

После вычисления расстояний O_1M и O_1M_3 находим наиболее оптимальные искомые (выходные) параметры синтеза плоского шарнирного четырехзвенного механизма по методу наименьших квадратов, который основан на минимизации суммы квадратов невязок

$$\Delta = \sum_{i=0}^n (O_1M - O_1M_3)^2. \quad (12)$$

Алгоритм оптимизации. После того, как составлен алгоритм вычисления целевой функции, производится поиск значений аргументов целевой функции, при которых она достигает минимума, чтобы получить оптимальные проектные параметры синтеза шарнирного четырехзвенника.

Порядок предлагаемой методики синтеза шарнирного четырехзвенника по заданной шатунной кривой в виде наклонного эллипса можно представить последовательностью следующих действий:

1. Учет исходных данных: расстояния между опорами d , большой полуоси a_1 и малой полуоси b_1 , угла наклона большой оси ϕ_1 эллипса к стойке.

2. Создание сетки в принятом диапазоне изменения аргументов целевой функции и узловых точек в ней, то есть разбиение диапазона на ряд отдельных значений, в которых необходимо вычислить целевую функцию с учетом условия $a < b < c < d$.

3. Учет второго ограничения в виде неравенства $(a+d) \leq (b+c)$.

4. Учет третьего ограничения в виде неравенства $\vartheta < \vartheta_{доп}$.
 5. Задание расчётных углов α на рассматриваемом участке вращения ведущего звена.
 6. Вычисление значения целевой функции по предложенному выше алгоритму.
 7. Определение искомым проектных длин звеньев механизма для комбинации найденного минимума целевой функции.
 8. Рисование траектории точки M по найденным оптимальным проектным параметрам шарнирного четырехзвенника.
 9. Рисование заданного наклонного эллипса.
- 8 и 9 пункты данного алгоритма дают возможность наглядно сравнить заданную и полученную траекторию движения точки M на шатуне.

Блок-схема разработанного алгоритма оптимизации проектных параметров механизма была представлена в [2, с. 15].

Полученные результаты. С помощью данной блок-схемы на алгоритмическом языке была разработана программа расчета проектных параметров шарнирного четырехзвенника, реализованная на персональном компьютере. Полученные значения параметров занесены в таблицу 1.

Таблица 1.

Проектные параметры четырехзвенного шарнирного механизма

Угол наклона заданного эллипса	Выходные кинематические параметры, м				Сумма квадратов невязок, м
	a	b	c	f	Δ_{\min}
$\pi/6$	0,18	0,79999	1,08999	0,46999	$1,02 \cdot 10^{-3}$
$\pi/4$	0,19	0,74999	1,00999	0,44999	$4,9 \cdot 10^{-4}$
$\pi/3$	0,19	0,79999	0,88999	0,42999	$1,17 \cdot 10^{-3}$

Причем, разработанная программа расчета стала пригодным для синтеза механизма по заданным шатунным кривым не только в виде наклонного эллипса, но и в виде окружности.

Оптимальные результаты расчета на ПК при $\alpha = \pi/4$, $d = 1,2$ м, $a_1 = 0,2$ м, $b_1 = 0,12$ м и $a_1 = b_1 = 0,11$ м, $d = 0,98$ м с графическим изображением заданных и расчетных шатунных кривых приведены на рисунке 3, где a – длина кривошипа, $b+f$ – длина шатуна, c – длина коромысла, hk – невязка, $x_{мс}$ и $y_{мс}$ – координаты центра шатунной кривой.

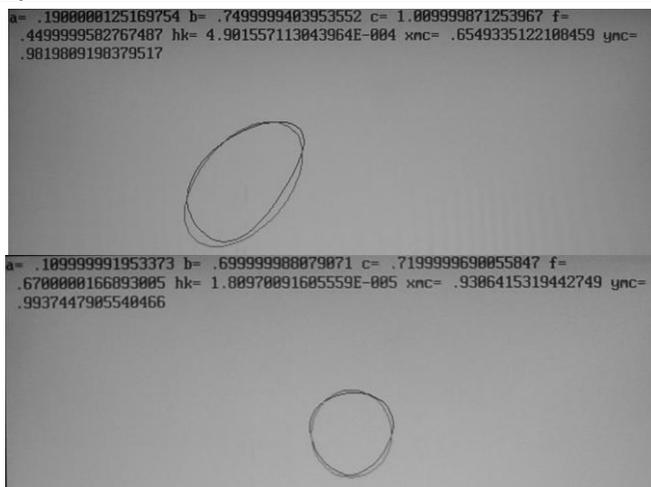


Рисунок 3. Расчетные параметры шарнирного четырехзвенника

Как видно из рисунка 3, разработанная программа расчета, реализованная на персональном компьютере, позволила достичь поставленной цели – приближенное воспроизведение траектории движения точки M на шатуне (шатунная кривая) в виде наклонного эллипса и окружности.

Планы положений звеньев механизма, построенные по вычисленным проектным параметрам синтеза, а также графики движения точки M , выстроенные по вычисленным координатам данной точки (по формулам 5 и 6) при соответствующих координатах центра шатунной кривой, представлены на рисунках 4 и 5.

Графическое изображение шатунной кривой, полученной при реализации на ПК разработанной программы расчета проектных параметров, и график шатунной кривой, построенной по координатам точки M , а также траектория движения, описываемой точкой M в плане положений механизма, совпали, что указывает на корректность и пригодность разработанной программы оптимизации проектных параметров четырехзвенного шарнирного механизма.

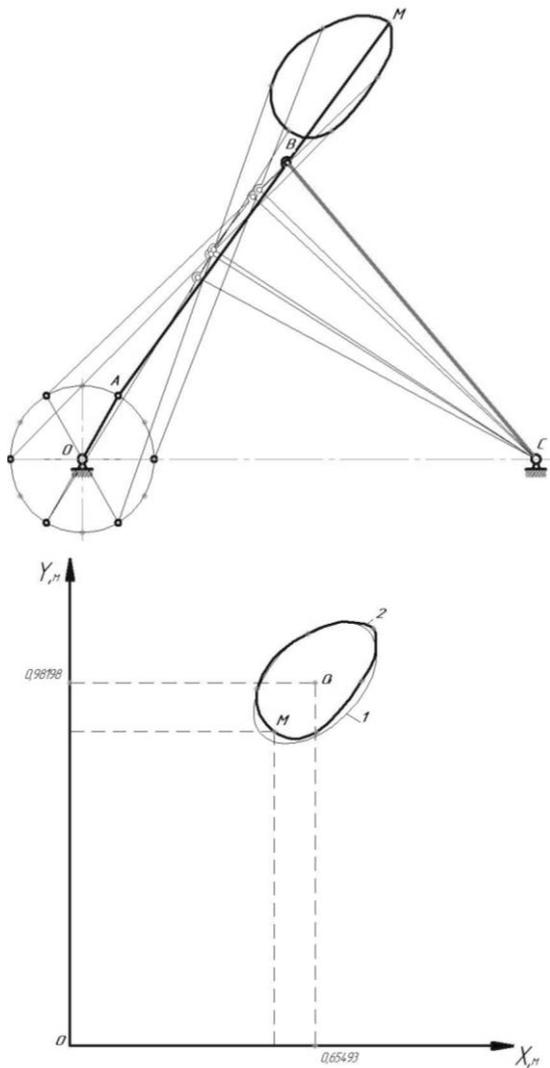


Рисунок 4. План положений механизма и график движения точки M . $a = OA = 0,19$ м; $b = AB = 0,74999$ м; $c = BC = 1,00999$ м; $f = BM = 0,44999$ м; $d = OC = 1,2$ м; 1 – заданная шатунная кривая; 2 – расчетная шатунная кривая

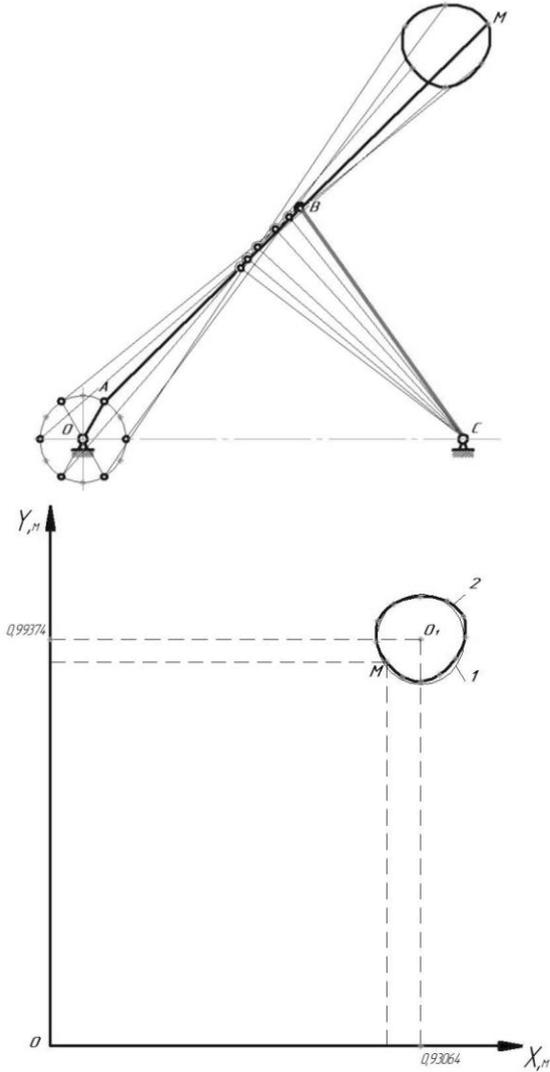


Рисунок 5. План положений механизма и график движения точки М. $a=OA=0,10999$ м; $b=AB=0,69999$ м; $c=BC=0,71999$ м; $f=BM=0,67$ м, $d=OC=0,98$ м; 1 – заданная шатунная кривая; 2 – расчетная шатунная кривая

Оценка абсолютной и относительной погрешности вычисления. Важнейшей задачей синтеза приближенно-направляющих механизмов, помимо нахождения приближенной кривой линий, описываемой точкой шатуна, является оценка абсолютной и относительной погрешности.

В первом случае можно оценить погрешности приближения величины радиуса кривой, описываемой точкой M на шатуне, к величине радиуса заданного наклонного эллипса в соответствующей точке, а во втором случае, погрешности приближения величины радиуса кривой, описываемой точкой M на шатуне, к величине радиуса заданной окружности при различных углах поворота кривошипа. Тогда абсолютная погрешность определяется из выражения

$$\delta_{абс} = |O_1M_{\varnothing} - O_1M|, \quad (13)$$

а относительная погрешность - из выражения

$$\delta_{отн} = \frac{|O_1M_{\varnothing} - O_1M|}{O_1M} \cdot 100\% . \quad (14)$$

Графики зависимости вычисленных по формулам (13) и (14) значения погрешностей от угла поворота кривошипа показаны на рисунке 6.

Средняя относительная погрешность приближения шатунной кривой к наклонному эллипсу или окружности не превышает 10 %, что указывает на оптимальность рассчитанных проектных параметров шарнирного четырехзвенника.

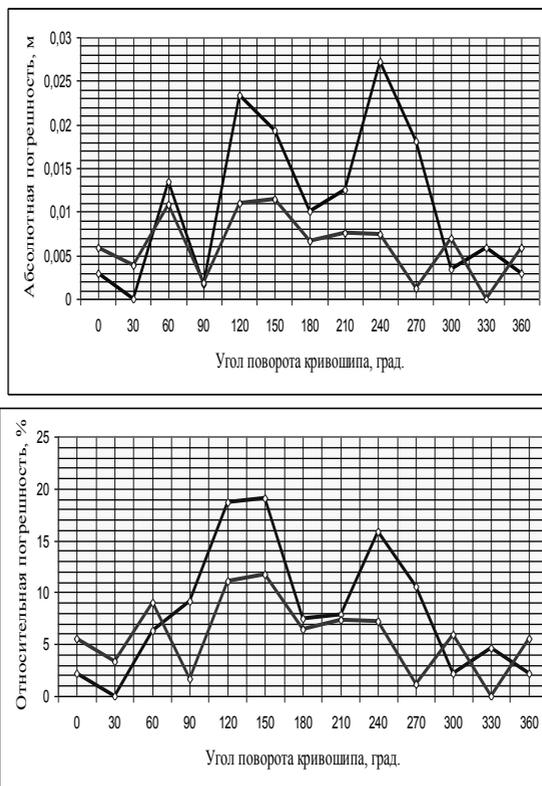


Рисунок 6. График зависимости абсолютной и относительной погрешности от угла поворота кривошипа

Вывод. Созданный программный продукт позволяет автоматизировать процесс проектирования шарнирно-рычажных четырехзвенных механизмов при воспроизводстве траекторий точки M на шатуне в виде кривой, приближенной к наклонному эллипсу или окружности.

Предложенная методика оптимизационного синтеза четырехзвенника, в отличие от существующих методик, предусматривает минимизацию отклонения точки расчетной шатунной кривой от центра плоской фигуры до соответствующей точки заданной шатунной кривой с использованием свойства эллипса, что существенно облегчает решение поставленной задачи и обеспечивает простоту и приемлемость для инженерных расчетов.

Список литературы:

1. Полак Э. Численные методы оптимизации: пер. с англ. Ф.И. Ерешко. – М.: Мир, 1974. – С. 376.
2. Бейсебаев А.К., Бейсенов Н.К. Синтез шарнирного четырехзвенника по заданной шатунной кривой // Вестник Карагандинского университета: математика. – 2014. Т. 75, № 3. – С. 11–16.

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД В ПРЕПОДАВАНИИ ОСНОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ В ВУЗАХ

Горбатов Вячеслав Валерьевич

*магистр, Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова,
РФ, Белгородская обл., Ивнянский район, с. Вознесеновка*

Горбатов Ирина Владимировна

*магистр, Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова,
РФ, Белгородская обл., Ивнянский район, с. Вознесеновка*

Акимов Александр Вячеславович

*студент, Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова,
РФ, Белгородская обл., г. Белгород*

Жуков Евгений Михайлович

*канд. техн. наук, доц. Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова,
РФ, Белгородская обл., г. Белгород
E-mail: icewation15@gmail.com*

AN INNOVATIVE APPROACH IN TEACHING THE FUNDAMENTALS OF MECHANICAL ENGINEERING AT UNIVERSITIES

Vyacheslav Gorbatykh

*master, Belgorod State Technological University them. V.G. Shukhov,
Russia, Belgorod region, Ivnyansky district, Voznesenovka*

Irina Gorbatykh

*master, Belgorod State Technological University them. V.G. Shukhov,
Russia, Belgorod region, Ivnyansky district, Voznesenovka*

Alexander Akimov

*student, Belgorod State Technological University them. V.G. Shukhov,
Russia, Belgorod region Belgorod*

Eugene Zhukov

*ph.D., Associate Professor Belgorod State
Technological University. V.G. Shukhov,
Russia, Belgorod region Belgorod*

АННОТАЦИЯ

На сегодняшний день прогрессивные технологии повсеместно внедряются в самые различные отрасли деятельности человека. Одной из таких отраслей является и машиностроение. Эффективное преподавание основ машиностроения является важной составляющей в процессе подготовки современного специалиста.

ABSTRACT

Today, advanced technologies are introduced widely in a variety of sectors of human activity. One such industry is the machinery. Effective teaching the basics of mechanical engineering is an important component in the preparation of modern specialist.

Ключевые слова: IT технологии, симулятор машиностроения.

Keywords: IT technology, engineering simulator.

В данной статье будет рассмотрен вопрос создания специально направленных приложений, связанных с изучением машиностроительных дисциплин. Целью создания данных приложений была разработка специализированного программного обеспечения, направ-

ленного на более углубленное изучение специальности студентами 2–4 курсов по направлению технология машиностроения, а так же упрощения изучения работы производств, независимости от их видов.

На данный момент одной из основных проблем машиностроительной отрасли является нехватка профессионально подготовленных кадров. Это связано с тем, что большинство студентов, обучающихся по данной специальности, теряют интерес, и перестают учиться и повышать свои профессиональные качества.

На основании этой проблемы, нами предлагается следующее возможное решение:

1. Вовлечь обучающихся в практический процесс изучения дисциплины при помощи специализированных приложений.

2. Неявное изучение тем посредством практических повторений пройденного материала.

3. Использование технологий виртуальной реальности типа Oculus.

1. Вовлечение обучающихся в практический процесс изучения дисциплины при помощи специализированных приложений.

На данном этапе мы разрабатываем парк станков «ручной» механической системы. Это требуется для того, чтобы обучающиеся могли использовать режим единичного производства. Если по заданию преподавателя, студенту достаётся вариант единичного производства изделия, он может выбрать станки, подходящие именно к его варианту. Данный этап направлен на изучение работы предприятия при различных типах и ситуациях производства. На рисунке 1 представлена модель станка 2Н135 разработанная Акимовым А.В. в программе трёхмерного моделирования Blender. Данная модель станка будет являться начальной, так как является наиболее простой в изучении. В дальнейшем будут разработаны другие виды станков, для создания целого парка [5].

Так же будет полностью разработана внутренняя система станка (рис. 2), включая её кинематику. Это будет полезно для понимания кинематической структуры станков, принципа передачи основного и вспомогательного движений. Благодаря симулятору изучение машиностроительных дисциплин приобретёт более интересный и практический характер. Это позволит увеличить аудиторию, которая будет изучать машиностроение в целом. После того, как будет полностью проработан парк металлорежущих станков, ЧПУ станков, и т. д. начнётся проработка математических зависимостей работы этих

станков на языке С++. Это требуется для оптимальной работы с графическим движком Unreal Engine 4 [1].

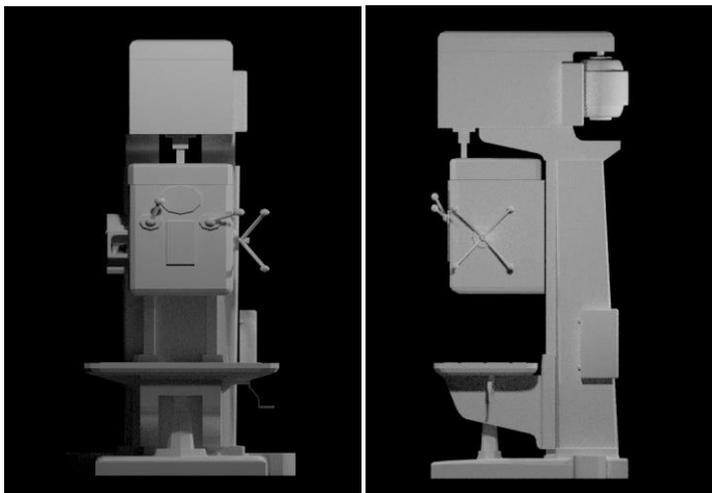


Рисунок 1. Трёхмерная модель станка 2Н135



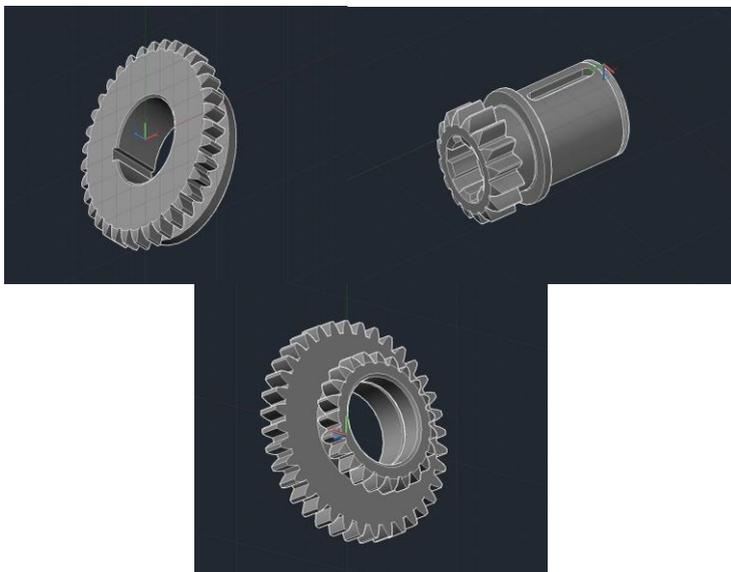


Рисунок 2. Элементы компоновки станка

2. Неявное изучение тем посредством практических повторений пройденного материала.

Этот пункт предполагается реализовать следующим образом: для того чтобы работать с данным приложением оптимально и эффективно, студенту потребуется знать определённые параметры, которые нужно будет задавать в приложение время от времени. Это не является обязательным условием, так как в помощь будет предоставлены оптимальные значения из матрицы одной из баз данных приложения, что в свою очередь позволит нам не принуждать студента к учёбе. Но используя на практике то или иное значение несколько раз, обучаемый запомнит его, тем самым усвоив часть материала по дисциплине. Так же в определённом виде будет представлена конструкторская часть приложения посредством проектировки и замены вышедших и строя элементов того или иного агрегата: Принцип построения будет реализован на основе работы в AutoCAD. Эти элементы так же будут способствовать усваиваемости материала студентами (рис. 3).

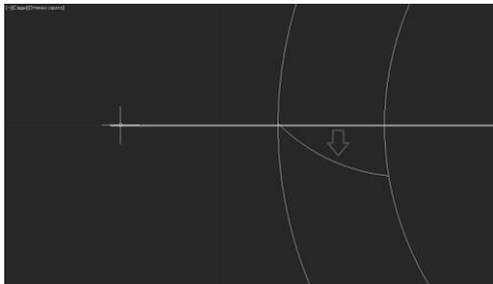


Рисунок 3. Упрощенное построение эвольвенты зуба в AutoCAD

3. Использование технологий виртуальной реальности типа Oculus.

Пользователи систем автоматизированного проектирования (computer-aided design, CAD) уже достаточно давно могут управлять и редактировать различные объекты в трех измерениях, но пока все это делается на плоских двухмерных дисплеях с помощью клавиатуры, традиционной мыши или, в лучшем случае, при помощи специальных манипуляторов. Все это приводит к некоторым ограничениям функциональности и связанным с ними неудобствами.

Но, в настоящее время появился достаточно широкий ряд трехмерных контроллеров, типа Microsoft Kinect или Oculus Rift, и других подобных устройств, которые с помощью камер и лучей инфракрасного света могут отслеживать движения и жесты рук человека в непосредственной близости от них. И Элон Маск наглядно демонстрирует, что именно такие устройства являются недостающим звеном в современных технологиях автоматизированного проектирования [3].

Благодаря данным технологиям вовлечение в процесс обучения будет иметь небывалый подъем (рис. 4). Соединив функции программного обеспечения трехмерного проектирования с возможностями устройства Leap Motion, которое не так давно появилось на рынке, можно с помощью интуитивно простых жестов управлять превращениями деталей в трехмерном пространстве.

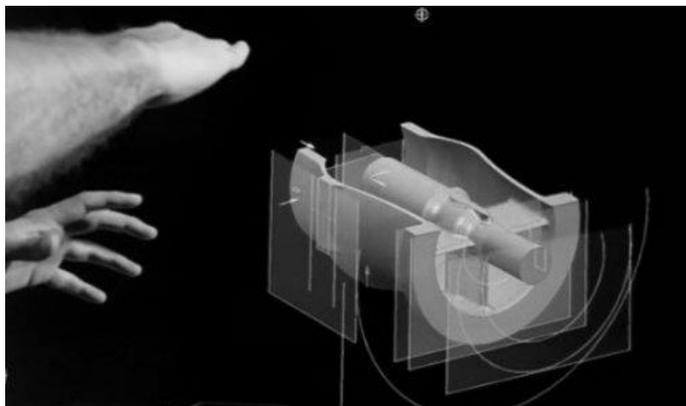


Рисунок 4. Устройство Leap Motion

Выводы.

Используя современные технологии и вековой опыт, можно достичь небывалых высот в подготовке специализированных кадров для машиностроительной отрасли. Данный метод будет иметь под собой научно-практическое подтверждение, благодаря чему будет возможно увеличение знака качества выпускаемых специалистов.

Список литературы:

1. Жуков Е.М., Блудов А.Н. Автоматизированное определение величины припуска наплавленного железнодорожного колеса: Информационные системы и технологии. 2014. № 5 (85). С. 74–80.
2. Паспорт станка 2Н125, 2Н135, 2Н150 – красный пролетарий – М. 1976 г. – 72 с.
3. Санин С.Н., Карталов А.В., Жуков Е.М. Адаптивный суппорт: патент на полезную модель RUS 119274 06.02.2012.
4. Учебное пособие Сухарев Э.А. Методы моделирования и оптимизации механических систем машин и оборудования: Э.А. Сухарев. – Ровно: Изд-во НУВХП, 2008. – 194 с.
5. Шабров Н.Н., С.Г. Орлов, Н.Б. Мельникова Моделирование и параллельные вычисления в системе виртуальной реальности CAVE -Н.Н.: Международная научная конференция «Параллельные вычислительные технологии 2009». – 3 с.
6. Элон Маск демонстрирует будущее технологий трехмерного проектирования – [Электронный ресурс] – режим доступа: URL: <http://www.dailytechinfo.org/infotech/5161-elon-mask-demonstriruet-buduschee-tehnologiy-trehmernogo-proektirovaniya.html> (Дата обращения 21.11.2015).

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ОТКЛОНЕНИЯ ОТ КРУГЛОСТИ ДОРОЖЕК КАЧЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ

Четвериков Борис Сергеевич

*аспирант кафедры «Технология машиностроения»,
БГТУ им. В.Г. Шухова,
РФ, г. Белгород
E-mail: await_rescue@mail.ru*

Дуганов Владимир Яковлевич

*канд. техн. наук, доц. кафедры «Технология машиностроения»,
БГТУ им. В.Г. Шухова,
РФ, г. Белгород*

Бортников Андрей Сергеевич

*студент кафедры «Технологии машиностроения»,
БГТУ им. В.Г. Шухова,
РФ, г. Белгород
E-mail: tmrk@intbel.ru*

AUTOMATION OF THE CONTROL CIRCULAR DEVIATION OF RACEWAYS IN PARTS OF BEARING UNITS

Boris Chetverikov

*postgraduate student, Department of Mechanical Engineering,
BSTU named after V.G. Shukhov,
Russia, Belgorod*

Vladimir Duganov

*candidate of technical sciences, the associate professor of Department
of Mechanical Engineering, BSTU named after V.G. Shukhov,
Russia, Belgorod*

Andrey Bortnikov

*student of Department of Mechanical Engineering,
BSTU named after V.G. Shukhov,
Russia, Belgorod*

Работа выполнена в рамках гранта: «Проект ПСР № 2011-ПР-146», договор № А-28/15 от 14.04.2015 г.

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены вопросы, связанные с контролем отклонения формы профилей радиусных дорожек качения деталей в машиностроении. При этом главной целью является разработка такого метода контроля, с помощью которого была бы возможна частичная или полная автоматизация производственной системы. Предлагается алгоритм для контроля, позволяющий осуществлять измерение бесконтактным методом на основе анализа фотопроекции контролируемого объекта. По мнению авторов, реализация данного алгоритма позволяет сократить временные, а, следовательно, и материальные затраты на контрольные операции.

ABSTRACT

The article deals with issues related to the form of profiles deflection control curved raceway parts in mechanical engineering. Thus the main aim is to provide such a control method, by which would be possible partial or full automation of the production system. The algorithm for control that allows for the measurement of non-contact method based on the analysis of photographic projection controlled object. According to the authors, the implementation of this algorithm reduces the time and hence the cost of the material and control operations.

Ключевые слова: контроль, дорожка качения, подшипниковый узел, отклонение от круглости, автоматизация, алгоритм.

Keywords: control, raceway, bearing unit, circular deviation, automation, algorithm.

Дорожки качения деталей узлов подшипниковых опор различных изделий имеют высокие требования по точности отклонения формы и взаимного расположения поверхностей, так, например, описанный в [1] элемент подшипникового узла допускает отклонение от круглости всего 0,03 мм, что требует применения специальных точных средств измерения и контроля. В условиях массового производства, при автоматизации основных операций, операции контроля также требуют сокращения временных затрат, за счёт полной или частичной автоматизации, что и предлагается авторами.

Для определения отклонения от круглости в ГОСТ 24642-81 существует обозначение *E_{FK}* (рис. 1), которое выбирают

максимальным путем сравнения профиля с заранее определенными профилограммами.

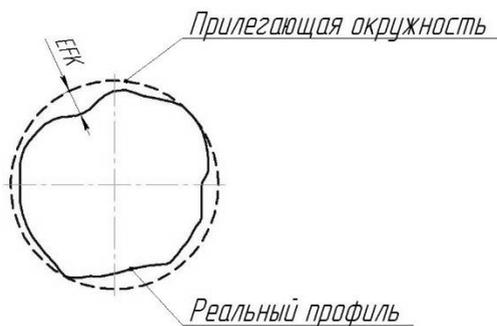


Рисунок 1. Определение отклонения от круглости–EFK

Осуществлять контроль отклонения от круглости предлагается на основе масочного метода, изложенного [2], а основы бесконтактного определения геометрических характеристик поверхностей получаемых изделий и обработки полученных изображений заложены в работах [3; 4].

На монохромное изображение профиля дорожки накладывается маска профиля радиусом R_m . Совмещая опорные точки A и B контура маски с крайними засвеченными пикселями профиля в изображении A_1 и B_1 (рис. 2), добиваемся точного совпадения этих точек, так как условие их совмещения, равно как и совмещения измерительной и реальной осей, оказывает непосредственное влияние на достоверность контроля [5].

Координата по оси уточки A_1 , будет равно нулю, так как верхняя граница дорожки качения лежит на границе ПЗС-матрицы. Добившись совпадения опорных точек и получив координату центра образующей профиля дорожки – O_k , определяем значение минимального и максимального радиусов в данном сечении.

Определение максимального и минимального значений радиуса R в точках контура дорожки качения необходимо для получения значения отклонения от формы, которое предлагается определить как их разность.

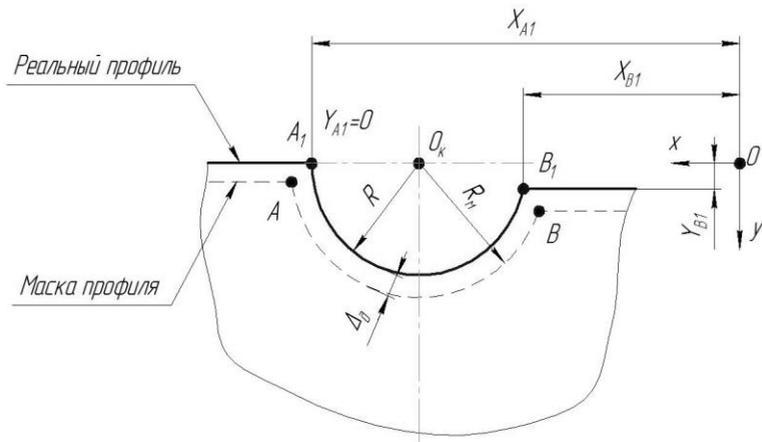


Рисунок 2. Графическое представление определения профиля дорожки

Для автоматизированного контроля отклонения от круглости разработана следующая процедура, состоящая из трех основных циклов и подпрограмм:

- 1) цикл вычисления минимального и максимального значений радиуса дорожки качения R_{min} и R_{max} в отдельно взятых сечениях дорожки качения за период измерений;
- 2) подпрограмма определения величины максимального отклонения от круглости $-\delta$;
- 3) подпрограмма проверки годности/брака детали по конкретному параметру, то есть величины допустимого значения отклонения от круглости.

В алгоритме, представленном на рис. 3: N – количество измерений; i – номер текущего измерения; R_i – радиус соответствующего номера измерения, мм; R_{max} – максимальный радиус за период измерений, мм; R_{min} – минимальный радиус за период измерений, мм; δ – отклонение радиуса, мм; δ_d – допустимое отклонение радиуса, мм.

Определим время выполнения одного шага t_u измерений, согласно описанному в [6]:

$$t_u = t_R + 4/3 \cdot t_R \cdot R_i / \Delta \quad (1)$$

где: t_R – время вычисления радиуса, мин.;

R_i – радиус дорожки, мм;

Δ – цена одного пикселя, мм.

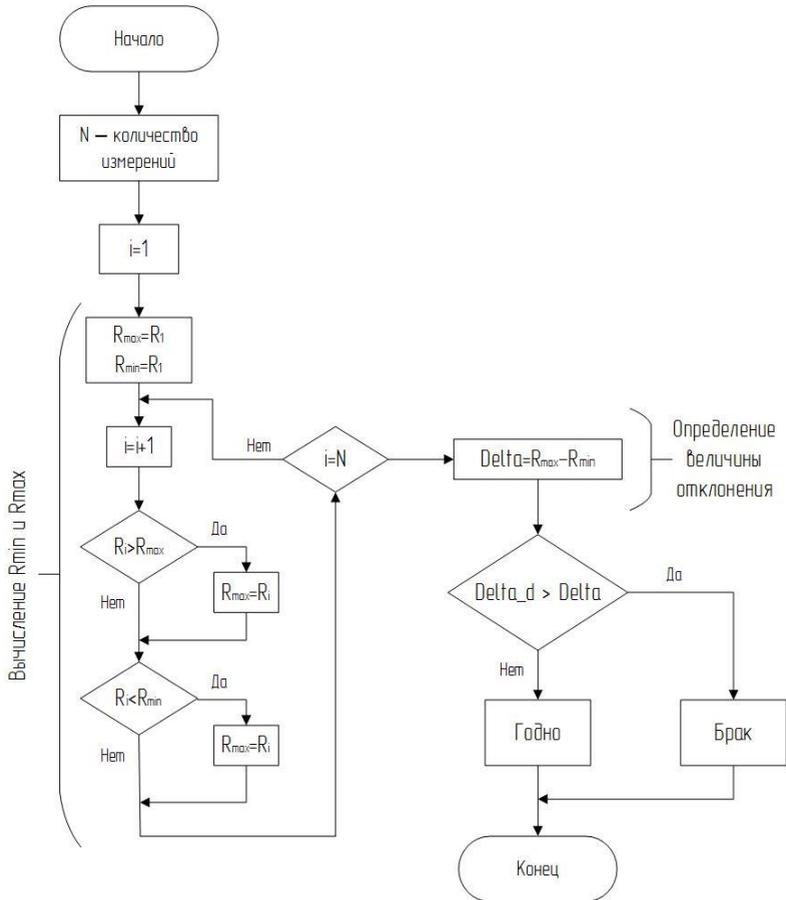


Рисунок 3. Блок-схема процедуры контроля отклонения от круглости дорожки качения

Таким образом, окончательное время выполнения измерений T :

$$T = t_3 + t_c + m \cdot (t_R + 4/3 \cdot t_R \cdot R / \Delta) + t_K, \quad (2)$$

где: t_3 – время установки и закрепления изделия в контрольном приспособлении, мин.;

t_c – время раскрепления и снятия изделия с контрольного приспособления, мин.;

t_R – время вычисления радиуса, мин.;

t_K – время вычисления отклонения, мин.;

R – радиус дорожки, мм;

Δ – цена одного пикселя, мм;

m – количество измерений.

Из выражения (2), следует, что время нахождения изделия в контрольном приспособлении определяется не только временем выполнения отдельных процедур, но и их количеством.

Таким образом, реализация предложенного авторами алгоритма контроля круглости дорожек качения позволяет снизить временные затраты на контроль, а, следовательно, и снижает материальные – на контрольные операции в технологическом процессе изготовления деталей, имеющих дорожки качения.

Список литературы:

1. Четвериков Б.С., Чепчуров М.С. Автоматизация процесса оценки точности канавки катания при изготовлении лапы бурового долота // Информационные системы и технологии. – 2015. – № 4. – С. 82–89.
2. Чепчуров М.С., Жуков Е.М., Блудов А.Н. Устройство оперативной бесконтактной диагностики отклонения профиля колеса железно-дорожного // Механика XXI века. – 2014. – № 13. – С. 139–144.
3. Чепчуров М.С., Афанаскова Ю.А. Бесконтактный способ контроля шероховатости поверхности деталей пресс-форм, и его реализация // Технология машиностроения. – 2009. – № 11. – С. 15.
4. Маслова И.В., Лозовая С.Ю., Чепчуров М.С. Дистанционная диагностика состояния опорных деталей сушильных барабанов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19, № 3. – С. 653–658.
5. Четвериков Б.С., Табекина Н.А. Метод оценки отклонения от круглости канавки катания лапы шарошечного долота // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2015. – № 3. – С. 25–31.
6. Чепчуров М.С., Четвериков Б.С. Позиционирование изделия в процессе автоматизированного бесконтактного контроля формы его поверхности качения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 2. – С. 99–103.

**ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ
СИСТЕМЫ МЕТОДОМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
TECNOMATIX PLANT SIMULATION**

Капранов Александр Евгеньевич

*магистрант Арзамасского политехнического института (филиала)
Нижегородского государственного технического университета,
РФ, г. Арзамас*

E-mail: kapranov-92@mail.ru

Кувшинов Антон Сергеевич

*магистрант Арзамасского политехнического института (филиала)
Нижегородского государственного технического университета,
РФ, г. Арзамас*

E-mail: tony.kuvshinoff@yandex.ru

Шурыгин Алексей Юрьевич

*канд. техн. наук, доц. Арзамасского политехнического института
(филиала) Нижегородского государственного технического
университета,*

РФ, г. Арзамас

E-mail: ashurigin@hotmail.ru

**OPTIMIZATION OF THE PRODUCTION SYSTEM
BY THE METHOD OF GENETIC ALGORITHMS USING
TECNOMATIX PLANT SIMULATION**

Alexandr Kapranov

*master student of of API (branch of) NSTU,
Russia, Arzamas*

Anton Kuvshinov

*master student of of API (branch of) NSTU,
Russia, Arzamas*

Alexey Shurigin

*candidate of Technical Sciences, Associate Professor of API (branch of)
NSTU, Russia, Arzamas*

АННОТАЦИЯ

Целью работы является оптимизация работы производственной системы с применением имитационного моделирования в программной среде Tecnomatix Plant Simulation. В качестве метода оптимизации использовался генетический алгоритм. В результате оптимизации получена новая последовательность запуска партий заготовок в обработку, а цикл обработки сократился на 10 %.

ABSTRACT

The aim is optimization of the production system with the use of simulation software Tecnomatix Plant Simulation. As a method of optimization the genetic algorithm was used. As a result of optimization the new sequence of workpieces to process was obtained, and processing cycle was reduced by 10 %

Ключевые слова: имитационное моделирование, оптимизация, метод генетических алгоритмов, последовательность запуска, производственная система.

Keywords: imitating modeling, optimization, method of genetic algorithms, sequence of start, production system.

Одним эффективных методов исследования работы производственных систем является имитационное моделирование. В настоящее время существует разнообразие программных сред, реализующих данный метод. Tecnomatix Plant Simulation является одной из таких сред, которая основана на объектно-ориентированном программировании. Для оптимизации работы производственных систем Tecnomatix Plant Simulation имеет в своем составе модуль оптимизации на основе генетических алгоритмов, который представляет собой эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе.

На рисунке 1 показана имитационная модель производственной системы, в которой моделируется процесс обработки партий 14 наименований деталей на четырех станках с ЧПУ (три станка TFC150 и один станок FTC10). Последовательность запуска заготовок задается таблицами Sequence_FTC10 и Sequence_TFC150. Время обработки и время наладки задается таблицами Proctime_FTC10, Setuptime_FTC10, Proctime_TFC150 и Setuptime_TFC150.

В результате моделирования [2] цикл обработки всех деталей составил 13 дней 20 часов. Диаграмма загрузки станков показала, что

оборудование загружено неравномерно, а заготовки довольно много времени пролеживают, ожидая своей очереди.

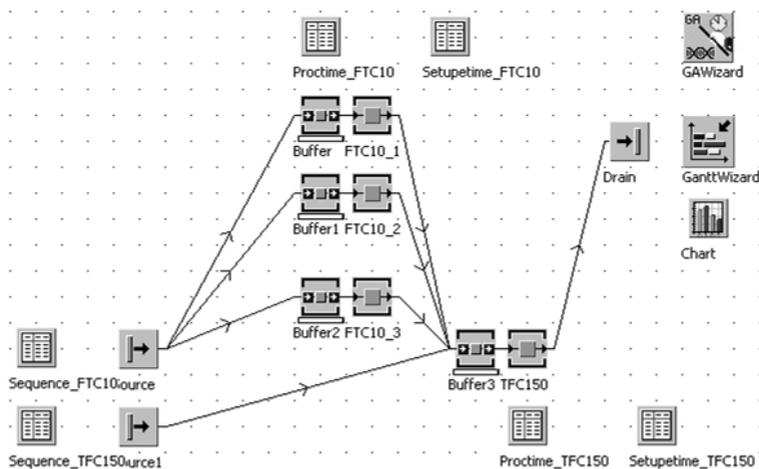


Рисунок 1. Имитационная модель производственной системы

С целью создания оптимальной последовательности запуска партии заготовок, обрабатываемых на участке, произведена оптимизация работы данного участка на основе метода генетических алгоритмов [1, с. 137]. При этом задается количество поколений, которое показывает количество решений задачи и размер поколения, который соответствует числу вариантов целевой функции в каждом решении. Чем выше значения указанных параметров, тем более точное значение целевой функции будет найдено. Однако, слишком большие значения приведут к увеличению времени расчета. Исходя из этого, задано 5 поколений по 10 популяций в каждом поколении.

В качестве параметров оптимизации выбраны последовательности запуска заготовок (рисунок 2).

	string 1	object 2	string 3	object 4
string	Parameter:	root.Sequence_FTC10	Parameter:	root.Sequence_TFC15
1	Последовательность	root.Sequence_FTC10	Последовательность	root.Sequence_TFC150
2	9 элементов		5 элементов	

Рисунок 2. Таблица параметров оптимизации

Целевой функцией является общее время обработки всех заготовок (рисунок 3).

	string 1	real 2
string	Целевое значение	Веса факторо
1	root.EventController.simtime	1.00000

Рисунок 3. Таблица задания целевой функции

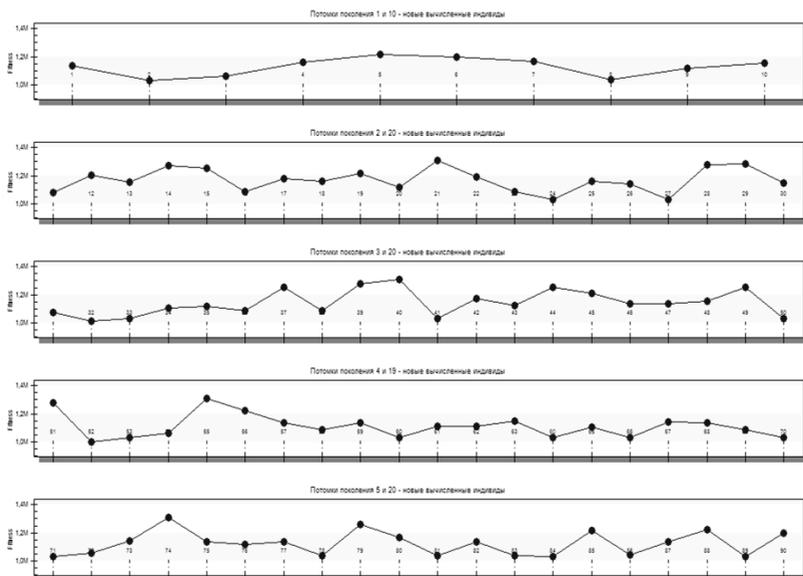


Рисунок 4. Сгенерированные в результате оптимизации индивиды

В процессе оптимизации последовательности запуска заготовок на обработку генетический алгоритм сгенерировал 90 индивидов, количество многократно созданных индивидов получилось равным 1, метод назначения штрафа не применялся, количество оцененных индивидов составило 89, количество наблюдений на индивида в результате оптимизации получилось равным 1, в итоге выполнено 89 итераций (рисунок 4).

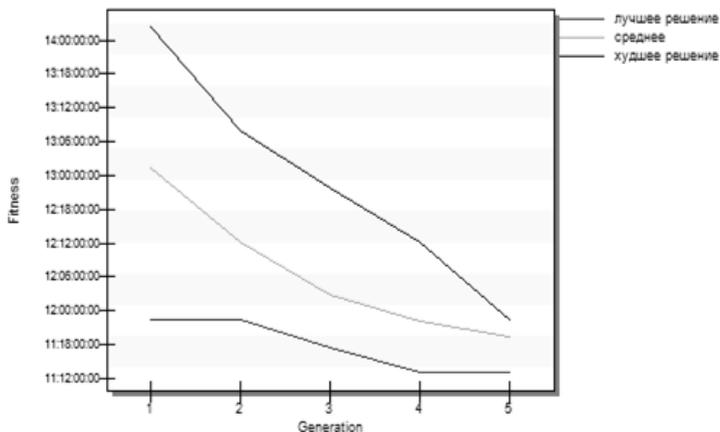


Рисунок 5. Эволюция целевой функции по поколениям

string 3	integer 7	integer 8
Name	Orig	Chrom
Koleso_023	5	1
Shesternya_191	9	2
Koleso_001	3	3
Koleso_000	2	4
Os_151	6	5
Koleso_017	4	6
Shesternya_162	8	7
Val_15	1	8
Os_161	7	9

а)

string 3	integer 7	integer 8
Name	Orig	Chrom
Koleso_020	3	1
Koleso_016	1	2
Shesternya_152	5	3
Koleso_018	2	4
Chervyak_000	4	5

б)

Рисунок 6. Таблицы оптимизированной последовательности запуска заготовок, обрабатываемых на станках FTC10 и TFC150 (а) и TFC150 (б)

Время оптимизации заняло 1 с. Эволюция целевой функции при оптимизации показана на рисунке 5. Величина целевой функции в результате оптимизации составила 11 дней 13 часов. Таким образом, время обработки всех партий заготовок станках уменьшилось на 1 день 15 часов.

В результате оптимизации получена новая последовательность запуска заготовок на обработку, отличная от исходной (рисунок 6).

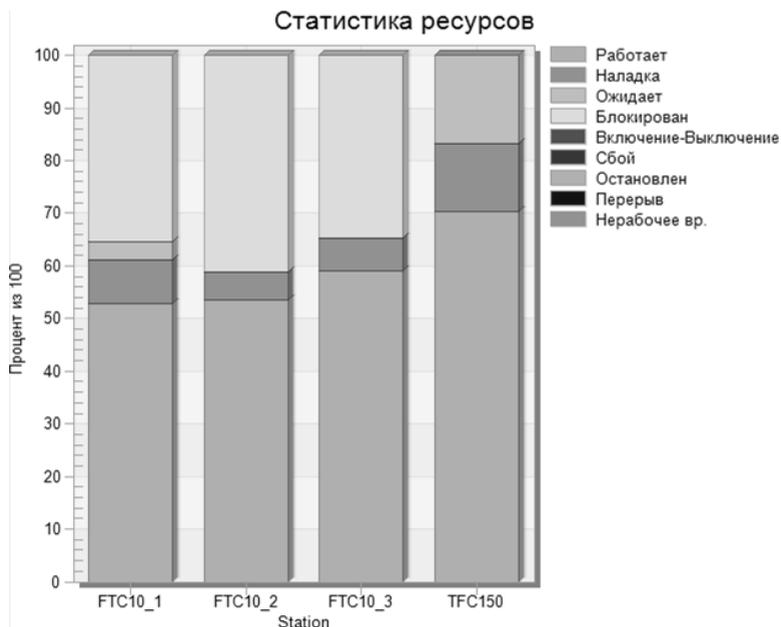


Рисунок 7. Диаграмма загрузки оборудования после оптимизации

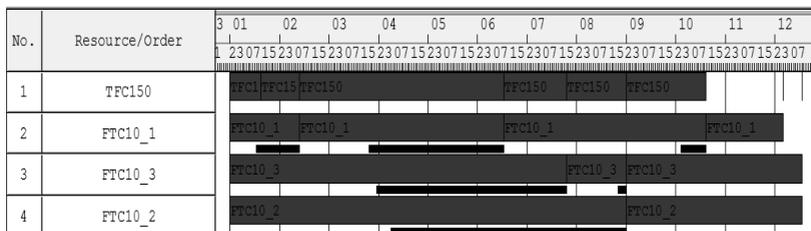


Рисунок 8. Диаграмма Ганта для оптимизированного варианта производственной системы

На диаграмме загрузки оборудования после оптимизации (рисунок 7) видны положительные изменения: станки меньше времени находятся в ожидании, то есть сократилось время их простоев. Средний коэффициент загрузки оборудования составляет 0,58.

Сокращение простоев в работе оборудования (узкие черные участки) после проведения оптимизации видно и на диаграмме Ганта (рисунок 8). По диаграмме можно заметить, что выровнялось время окончания работы станков, а цикл обработки всех деталей уменьшился на 10 %.

Список литературы:

1. Гладков Л.А. Генетические алгоритмы – [Электронный ресурс] – / Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. – Электрон. текстовые данные. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 366 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/12974>. – ЭБС “IPRbooks”, по паролю.
2. Ильин Р.А., Бусаров Е.И., Шурыгин А.Ю. Имитационное моделирование производственной системы с применением программного продукта Tecnomatix Plant Simulation // Технические науки – от теории к практике / Сб.ст. по материалам LV междунар. науч.-практ. конф №1 (49). Новосибирск: Изд. АНС «Сибак», 2016 – С. 104–111.
3. Tecnomatix Plant Simulation 10 Step-by-Step Help.-2010. – 618 с. – [Электронный ресурс] – URL: http://m.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/PlantSimulation_Step-By-Step_ENU_tcm1224-143387.pdf (Дата обращения: 07.09.2015).

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ГИДРОЦИЛИНДРА В ДАТЧИКАХ ТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ МРС

Любимый Николай Сергеевич

*аспирант кафедры ТМ БГТУ им. В.Г. Шухова,
РФ, г. Белгород
E-mail: pershin26@yandex.ru*

Дуганов Владимир Яковлевич

*канд. техн. наук, декан факультета заочного образования
БИЭИ, проф. БГТУ им. В.Г. Шухова,
РФ, г. Белгород*

Тетерина Ирина Александровна

*аспирант кафедры ТМ БГТУ им. В.Г. Шухова,
РФ, г. Белгород
E-mail: irinochka1611@rambler.ru*

APPLICATION OF THE COMBINED CYLINDER IN SENSOR ACCURATE MEASUREMENT FOR MACHINE TOOLS

Nikolay Lubimyi

*graduate student TM BSTU named after. V.G. Shukhov,
Russia, Belgorod*

Vladimir Duganov

*candidate of Science, dean of the Faculty of distance education BIEL,
professor of BSTU named after. V.G. Shukhov,
Russia, Belgorod*

Irina Teterina

*graduate student TM BSTU named after. V.G. Shukhov,
Russia, Belgorod*

Результаты исследований, изложенные в статье выполнены в рамках гранта: «Проект ПСР № 2011-ПП-146», договор № А-7/14 от 10.04.2014 г.

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается вопрос использования датчиков точных измерений на металлорежущих станках с числовым программным управлением и промышленных роботах. Дается описание преимуществ использования контактных датчиков на станках с ЧПУ. Приводится конструкция контактного датчика точных измерений с использованием комбинированного гидроцилиндра. Сделаны выводы о влиянии контактного датчика точных измерений с комбинированным гидроцилиндром на качество изготовления изделий на металлорежущих станках.

ABSTRACT

The article discusses the use of accurate measurement sensors on machine tools with CNC and industrial robots. A description of the benefits of using contact sensors on CNC machines. Viewed accurate measurement touch sensor construction with using a combined of the hydraulic cylinder. The conclusions about the impact of the contact sensor accurate measurements combined with a hydraulic cylinder on the quality of the manufacture of products on machine tools.

Ключевые слова: Комбинированный гидроцилиндр; датчик точных измерений; контактный датчик; МРС с ЧПУ; измерение.

Keywords: Combination hydraulic cylinder; accurate measurement sensor; a contact sensor; machine tools with CNC; measurement.

В мелкосерийном и серийном производствах, выпускающих 75...80 % [4, с. 341] продукции от общего объема машиностроения, присутствует значительный объём ручного труда. Эти производства, в основном, оснащаются универсальными металлорежущими станками (МРС). Развитие вычислительной техники позволило перейти к созданию МРС с числовым программным управлением. В результате появления систем ЧПУ и промышленных роботов, универсальный МРС, по существу, превратился в автомат. Но этот автомат существенно отличается от станков-автоматов массового производства, возможностью быстрой перенастройки на обработку новой заготовки. МРС, оснащенный системой ЧПУ и ПР, превратился в систему, работающую без непосредственного участия человека.

В станках с ЧПУ кроме датчиков, измеряющих скорость и положение рабочего органа станка, мощности, затрачиваемой на снятие припуска [5, с. 11], широко применяются датчики активного контроля геометрии обрабатываемой детали и геометрии инструмента [3, с. 214]. Контактные датчики предназначены для использования в конструкциях современных металлообрабатывающих станков с ЧПУ (рис. 1). Контактный датчик обеспечивает наладку инструмента, настройку на технологическую операцию и измерение.



**Рисунок 1. Контактные датчики для станков с ЧПУ.
(Рисунок с сайта <http://refoteka.ru/>)**

Согласно [3, с. 42] использование контактных датчиков в расточно-фрезерных станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах (ОЦ) с ЧПУ позволяет:

- значительно сократить время наладки инструмента и обнаружения неисправного инструмента;
- обеспечить автоматизированное позиционирование заготовок и задание коррекции, в т. ч. на малогабаритных станках для скоростной обработки;
- повысить производительность обработки за счёт снижения количества операций и реализации точных измерений непосредственно на станке.

Исследования показали [3, с. 51]:

- многоцелевые станки с ЧПУ, на которых наладка инструмента, настройка на технологическую операцию и контроль выполняется вручную, обеспечивают следующее распределение времени работы оборудования – обработка металла – 55 %, наладка и измерения – 35 %, прочие операции – 10 %.
- многоцелевые станки с ЧПУ, на которых для аналогичных операций используются измерительные системы, обеспечивают следующее распределение времени работы оборудования – обработка металла – 80 %, наладка и измерения – 15 %, прочие операции – 5 %.

Датчики должны иметь высокую степень сопротивления ударам и вибрации, герметичное исполнение, стойкость по отношению к СОЖ и металлической стружке [6, с. 17; 7, с. 13].

Современные машины и их детали становятся всё более миниатюрными, это обусловлено как удобством эксплуатации, так и экономической эффективностью изготовления и использования этих машин. Точность изготовления деталей машин также требует исполнения прецизионных размеров, которые невозможно обеспечить без точного позиционирования заготовки и инструмента.

Работы, выполненные авторами на кафедре технологии машиностроения БГТУ им. В.Г. Шухова, позволили разработать конструкцию датчика точных измерений линейных размеров, в основе которой лежит использование комбинированного гидроцилиндра.

На рис. 2 представлена общая схема датчика точных измерений линейных размеров. Подробное устройство и работа датчика описаны в [2, с. 2].

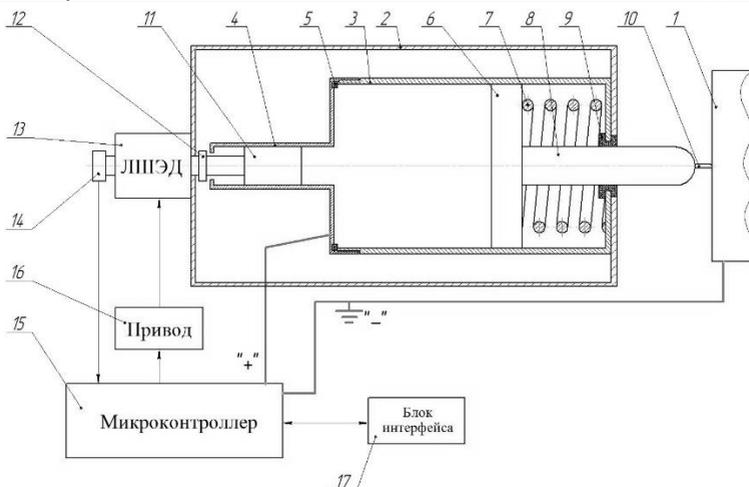


Рисунок 2. Датчик точных измерений линейных размеров.
1 – измеряемая поверхность; 2 – изолированный корпус датчика;
3 – комбинированный гидроцилиндр; 4 – крышка; 5 – уплотнение;
6 – основной поршень; 7 – пружина; 8 – выдвигной шток;
9 – манжета; 10 – контактный наконечник; 11 – дополнительный поршень;
12 – жесткая муфта; 13 – линейный шаговый электродвигатель; 14 – энкодер; 15 – микроконтроллер;
16 – привод ЛШЭД; 17 – блок интерфейса

Наличие комбинированного гидроцилиндра [1, с. 98] позволяет производить передачу кинематики между элементами датчика с минимальными потерями, так как гидравлическая жидкость имеет пренебрежительно малый коэффициент сжатия, а наличие в конструкции датчика комбинированного гидроцилиндра с основным и дополнительным поршнем имеющими соотношение квадратов площадей не менее 20, обеспечивает выполнение условия измерения линейных размеров от 2 мкм и менее. Точность измерения в таком случае будет:

$$ТИ = Z_{лшэд} / (S_{max}^2 / S_{min}^2)$$

где: $Z_{лшэд}$ – минимальный шаг ЛШЭД равный 0,04 мм согласно техническим характеристикам;

S_{max} – площадь основного поршня;

S_{min} – площадь дополнительного поршня.

Выбор площадей поршней не нормируется, может быть принят любым, но удовлетворяющим условию:

$$(S_{max}^2/S_{min}^2) \geq Z_{лшэд}/ТИ$$

Для этого определяются с необходимой точностью измерений. Например, ТИ=0,002, тогда получим что соотношение квадратов площадей поршней – 20:

$$(S_{max}^2/S_{min}^2) = 0,04 \text{ мм}/0,002 \text{ мм} = 20$$

Таким образом большие перемещения штока ЛШЭД преобразуются в малые перемещения штока основного поршня, оснащённого контактным наконечником, причем за счёт отношения квадратов площадей основного и дополнительного поршней, которое должно быть больше или равно отношению шага линейного шагового электродвигателя к точности измерения датчика, то есть $(S_{max}^2/S_{min}^2) \geq Z_{лшэд}/ТИ$, обеспечивается измерение линейных размерами менее 2 мкм. Регулируя соотношение площадей основного и дополнительного поршня в конструкции датчика можно регулировать его предельную точность измерения.

Применяя датчики измерения линейных размеров на основе комбинированного гидроцилиндра можно добиться значительного увеличения дискретности измерения позиционирования инструмента и заготовки, что в конечном итоге произведёт положительное влияние на качество изготавливаемых изделий на МС.

Список литературы:

1. Марутов В.А. Гидроцилиндры. Конструкции и расчёт. / В.А. Марутов, С.А. Павловский. – М.: Машиностроение, 1966. – 172 с.
2. Пат. 155384. Российская Федерация, МПК G01B13/03. Датчик для точных измерений линейных размеров [Текст] / Н.С. Першин, М.С. Чепчуров, Б.С. Четвериков, – № 2015113237/28, заяв. 09.04.2015, опубл. 10.10.2015, бюл. № 28.
3. Таратынов О.В. Металлорежущие системы машиностроительных производств: учебное пособие для вузов / О.В. Таратынов. – М.: 2006. – С. 488.
4. Тимирязев В.А. Основы технологии машиностроительного производства: учеб. для вузов. / В.А. Тимирязев, В.П. Вороненко, А.Г. Схиртладзе. – СПб.: Лань, 2012. – С. 442.
5. Чепчуров М.С. Контроль и регистрация основных параметров резания при обработке крупногабаритных деталей // Технология машиностроения. – 2008. – № 3. – С. 11–12.

6. Чепчуров М.С. Модернизация координатно-расточного станка с использованием датчиков линейных перемещений / М.С. Чепчуров, М.Н. Воронкова // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2011. – № 6. – С. 17–19.
7. Чепчуров М.С. Модернизация управления приводом фрезерного станка с чпу при использовании ПК. // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2008. – № 7. С. 13–15.

ВЫВЕРКА КРУПНОГАБАРИТНЫХ МАССИВНЫХ ЗАГОТОВОК ПРИ ОБРАБОТКЕ

Марголит Ремир Борисович

*канд. техн. наук, проф. РИ (ф) Московского государственного
Университета машиностроения,
РФ, г. Рязань
E-mail: r.margolit@yandex.ru*

Карнов Юрий Вячеславович

*старший преподаватель РИ(ф) Московского государственного
Университета машиностроения,
РФ, г. Рязань
E-mail: kpgeorgie@yandex.ru*

ADJUSTMENT OF LARGE-SIZE MASSIVE PREPARATIONS WHEN PROCESSING

Remir Margolit

*ph.D., professor of the Ryazan (branch)
of the Moscow state machine-building University (MMBU),
Russia, Ryazan*

Yury Karpov

*senior lecturer of the Ryazan (branch)
of the Moscow state machine-building University (MMBU),
Russia, Ryazan*

АННОТАЦИЯ

Описана методика выверки массивных крупногабаритных заготовок до положения, исключающего деформации от действия сил тяжести.

ABSTRACT

The technique of adjustment of massive large-size preparations before the situation excluding deformations from action of gravity is described.

Ключевые слова: массивные заготовки, опоры, деформации, выверка.

Keywords: massive preparations, bearing parts, deformations, adjustment.

Массивные заготовки крупногабаритных деталей под действием сил тяжести претерпевают значительные деформации, величина которых в зависимости от массы и жесткости конструкции достигает десятых долей, целых и даже десятков миллиметров. Речь идет о корпусах, станинах, столах, рамах, плитах и других крупногабаритных деталях различных машин (металлорежущего, кузнечно-прессового, энергетического, транспортного и другого оборудования). В технической литературе прослеживается недооценка необходимости преодоления возникающих трудностей [1, с. 49; 3, с. 85–87; 4]. Выверка заготовок отдана на откуп станочникам, которые зачастую допускают ошибки, приводящие к снижению точности обработки.

Если такую заготовку произвольно, без специальной выверки, устанавливают для механической обработки на стол станка, то велика вероятность, что она оказывается в деформированном состоянии, в котором на начальных технологических переходах обрабатывают базовые поверхности. Затем от обработанных баз параллельно, перпендикулярно или в заданном угловом положении обрабатывают другие поверхности. Может показаться, что регламентированная сотыми и тысячными долями миллиметра требуемая точность формы и расположения поверхностей достигнута. Однако после переустановки заготовки выясняется, что заключение о высокой точности ошибочно.

Зачастую трудности выявляются не при изготовлении деталей, а при сборке или монтаже машины на фундаменте. Например, невозможно опустить один из углов станины, даже полностью удалив домкрат или башмак. Или наоборот, невозможно приподнять один из углов, так как начинает подниматься другой угол. Объяснение этому состоит в том, что станина была изготовлена «на пределе точности».

Такое иногда бывает, когда точность машины снизилась через некоторый период времени, так как в базовых деталях произошло изменение формы или расположения поверхностей в связи с действием внутренних напряжений.

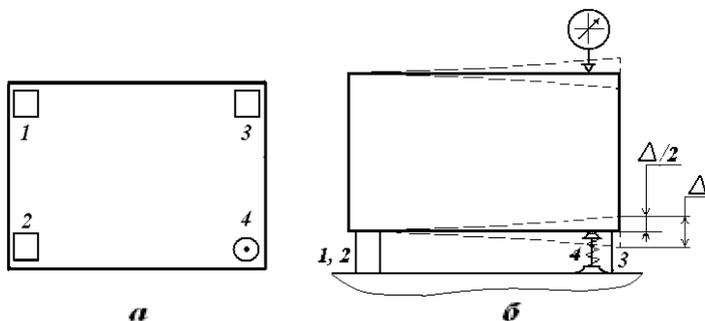
У станин станков с наклонными или вертикальными направляющими эти поверхности обрабатывают при горизонтальном расположении, а затем переворачивают станину в рабочее положение. Происходит изменение геометрической точности поверхностей, результаты становятся неудовлетворительными.

Для того чтобы понять, насколько серьезна проблема изготовления массивных, крупногабаритных корпусных и базовых деталей выполним следующий эксперимент (рисунок 1).

Установим заготовку на три жесткие опоры 1, 2 и 3 одинаковой высоты, под четвертый угол подведем регулируемую опору 4 без касания основания заготовки. На рисунке 1а) показано расположение опор. Опоры 1 и 2 следует разместить под тяжелой стороной детали.

При распознавании более тяжелой стороны возможны следующие варианты:

- иногда тяжелая сторона конструкции столь очевидна, что выбор не вызывает сомнений;
- если деталь симметрична, то на сторону, размещенную на опорах 1 и 2, можно добавить небольшой груз;
- в наиболее сложных случаях следует убедиться, что заготовка стоит на опорах 1 и 2. Если эта сторона не является более тяжелой, то заготовку можно покачать на двух диагонально расположенных опорах (1 и 4, 2 и 3) при приложении сравнительно небольшого усилия.



**Рисунок 1. Схема размещения заготовки на опорах:
1, 2, 3 – жесткие опоры, 4 – регулируемая опора**

Поскольку регулируемая опора не касается основания заготовки, угол 4 отвисает. Над четвертым углом поместим индикаторные часы, обнулим показания на их шкале отсчета (рисунок 1б) и начнем подъем. В момент касания регулируемой опорой основания заготовки начнется отсчет величины подъема угла 4. На углах 1, 2 и 3, в зависимости от жесткости детали, подъем некоторое время происходить не будет. Как только будет зафиксировано начало отрыва от одной из опор 2 или 3, ближайшей к опоре 4, подъем необходимо прекратить.

Для проверки момента отрыва можно использовать один из двух способов:

- 1) совмещать подъем угла 4 с попытками сместить в горизонтальной плоскости опору 2 или 3;
- 2) установить дополнительные индикаторы на заготовку над опорами 2 и 3.

При проверке способом 1) в момент отрыва заготовка теряет контакт с опорой 2 или 3, опору можно без больших усилий сдвинуть в сторону.

При проверке способом 2) некоторое время дополнительные индикаторы над опорами 2 и 3 не фиксирует никаких изменений положения заготовки в вертикальной плоскости, в то время, как индикатор над регулируемой опорой 4 показывает величину подъема угла. В определенный момент начинается также подъем заготовки над опорой 2 или 3. Металлическая заготовка ведет себя как упругая, резиновая, но со значительно большей жесткостью.

Эксперимент всегда производит впечатление на всех, кто до этого не сталкивался с данной проблемой.

Следует зафиксировать величину подъема Δ в пределах упругости до того момента, пока начнется подъем над опорой 2 или 3.

Вывявленную величину подъема Δ четвертого угла нужно разделить на 2, дальнейшую обработку, в том числе верхней плоскости, следует выполнять в положении подъема $\Delta/2$. Верхнюю плоскость в дальнейшем можно использовать в качестве базы [2].

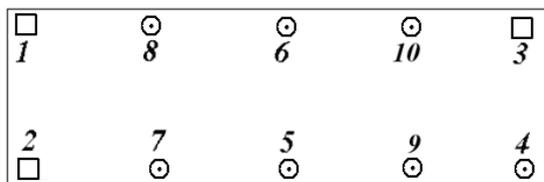
Описанный способ выверки заготовок на начальных операциях обработки уменьшает негативное воздействие деформаций на точность обработки крупногабаритных корпусных деталей. Выполнение данного способа приближает поверхности заготовок к положению, которое они примут в состоянии невесомости. Это положение будем называть «нейтральным». Именно это положение изображено на рисунке 1б.

Если габаритные размеры детали не столь велики, что провисание углов превосходят требования к плоскостности, то

возможен вариант установки заготовки для дальнейшей обработки не на четыре, а на три жесткие опоры. Две опоры должны располагаться по углам более тяжелой стороны, а третья опора – посередине противоположной, более легкой стороны.

Выверку заготовки большой длины для обработки на фрезерном или строгальном станке рассмотрим на примере станины металлорежущего станка. Ее также нужно установить на три жесткие одновысотные опоры, размещенные под ее тремя углами. Заготовка должна устойчиво лежать на этих трех опорах 1, 2, 3 (рисунок 2). Если заготовка пытается опрокинуться в сторону четвертого угла, то это свидетельствует о том, что тяжелая сторона располагается с противоположной стороны и следует изменить расположение опор.

Четвертый угол и середина заготовки провисают под действием силы тяжести.



**Рисунок 2 – Схема установки заготовки большой длины:
1, 2, 3 – жесткие; 4–10 – регулируемые опоры**

Под четвертый угол необходимо подвести регулируемую опору 4. В качестве нее можно использовать домкрат или клиновой башмак, применяемый на сборке или в механическом производстве. Над углом 4 заготовки нужно расположить индикатор 4 с ценой отсчета 0,01 мм для проверки изменения положения заготовки в вертикальном направлении при подъеме угла. Измерительный наконечник часов индикатора должен занимать вертикальное положение и касаться либо верхней плоскости заготовки или ее выступа, или лапы. Если выверка производится на станке, то предоставляется возможность закрепить индикатор сверху в рабочем органе станка. В других случаях можно установить его на столе станка и коснуться измерительным наконечником индикаторных часов основания заготовки, но как можно ближе регулируемой опоре. Обнулить показания индикатора.

Далее необходимо с помощью домкрата начать подъем четвертого угла заготовки и выявить значение $\Delta/2$, аналогично методу, описанному ранее.

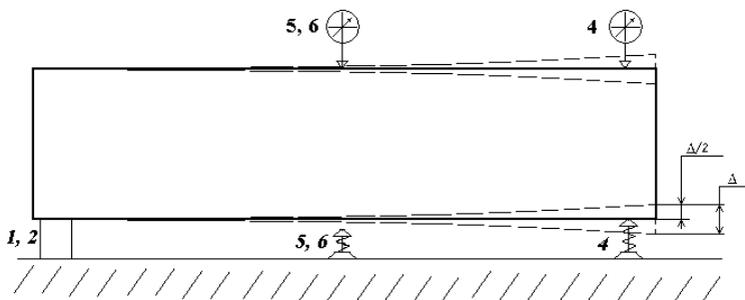


Рисунок 3. Определение размера $\Delta/2$ у заготовки большой длины

Если заготовка имеет большую протяженность (плиты, станины), то для повышения ее жесткости требуется установить дополнительные регулируемые опоры (5 и 6) в середине ее длины. Зачастую отыскание требуемой величины подъема в этих точках оказывается более трудоемким, чем одной четвертой точки на углу заготовки. Возникают две сложности:

- 1) избыточный подъем нарушит достижение прямолинейности плоскостей;
- 2) разные по величине подъемы с боковых сторон заготовки создадут перекосы направляющих, которые будут выявлены после раскрепления заготовки.

Необходимо установить еще два индикатора 5 и 6 над одноименными опорами (рисунок 3).

Поднимаем заготовку, на небольшие и равные величины, поочередно регулируемые опорами 5 и 6 до тех пор, пока начнется, отрыв заготовки от любой из других четырех опор.

Индикаторами 5 и 6 выявляем полную величину Δ подъема заготовки опорами 5 и 6 и делим на три. В этом положении фиксируем заготовку, таким образом, чтобы заготовка в этом месте была поднята на величину $\Delta/2$. Создается запас регулирования при монтаже станка на фундаменте. Некоторая вогнутость, получаемая при обработке, может быть исправлена подъемом в процессе выверки станины. Выпуклость, не деформируя станину, исправить невозможно.

Если возникнет необходимость еще в дополнительных опорах 7, 8, 9, 10 то их нужно разместить в местах расположения фундаментных опор и подводить к заготовке со строгим контролем индикатором величин подъема заготовки, разность которых не должна превышать нескольких микрометров. Нарушение этого правила приводит к перекосам обработанных поверхностей заготовки. Даже небольшой

домкрат с винтом М8 с помощью маленького ключа может поднять участок многотонной заготовки на недопустимую величину.

Если массивную заготовку обрабатывают в условиях повторяющегося производства, то целесообразно зафиксировать величины деформаций и не повторять каждый раз замеры величин нежесткости, так как от одной детали к другой эти значения будут изменяться незначительно.

При проведении выверки станины, 3D-модель которой приведена на рисунке 4, первоначально было принято ошибочное решение, что более тяжелая сторона детали находится слева, со стороны установки шпиндельной бабки.

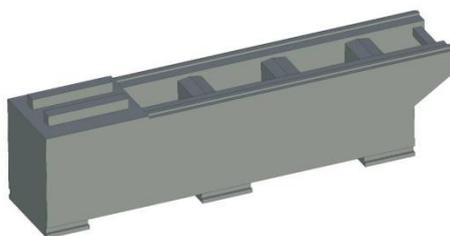


Рисунок 4. 3D – модель станины

С этой стороны разместили две неподвижные опоры, а с правой стороны одну жесткую и одну регулируемую. Попытка опускать регулируемую опору приводила к возможности раскачивания на двух диагонально расположенных опорах, из которых одна с передней стороны станины, а другая с задней. Проверка деформаций методом конечных элементов, выполненная в компьютерном продукте T-Flex Analis показала, что консоль в правой части станины смещает центр тяжести в свою сторону.

На рисунке 5 отображена выверка станины, которую выполняли на продольно фрезерном станке с ЧПУ. Под все четыре угла подведены регулируемые опоры в виде домкратов.

Индикатором, закрепленным на шпиндельной бабке станка, контролировали распределение припусков на направляющих и положение углов станины. Величину подъема правой регулировочной опорой с легкой стороны станины контролировали индикатором (справа на рисунке 5).

Отыскание «нейтрального положения» показало, что угол следует поднять на 0,085 мм. В средней части станины установили два

домкрата, которыми приподняли середину заготовки с каждой стороны на величину 0,011 мм.



Рисунок 5. Выверка станины на станке

Закрепление станины после выверки произведено боковыми прижимами.

После обработки прямолинейность направляющих станины была проверена с помощью автоколлиматора на станке в раскрепленном состоянии. Величина непрямолинейности на всей длине станины составила 8 мкм в сторону вогнутости. Это свидетельствует о том, что станина обладает большой жесткостью и домкраты в середине можно подводить без подъема до касания основания с контролем по индикатору.

Станина токарного станка мод. 1М63 с расстоянием между центрами 3 метра Рязанского станкозавода обладает большей массой. Для приведения ее в «нейтральное положение» необходимо поднять угол на величину 0,65 мм.

Выводы:

1. Разработана методика выверки в цеховых условиях крупногабаритных корпусных деталей в «нейтральное положение» для достижения высокой точности при обработке.
2. Методика доступна станочникам, внедрена на Рязанском и Сасовском станкостроительных заводах.
3. Переход к обработке крупногабаритных корпусных деталей в «нейтральном положении» приводит к значительному повышению эффективности производства.

Список литературы:

1. Кульгин В.Л., Кульгина И.А. Основы технологии машиностроения: учебное пособие для студентов вузов / – М.: «Издательский Дом «Бастед». 2011. – 168 с.
2. Марголит Р.Б. Способ выверки массивных заготовок на позиции обработки. // Патент на изобретение № 2212325, заявка 28.05.01, зарегистрировано 20.10.2003.
3. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник. 3-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань». 2010 – 512 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. С. 74. Т 1 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение. 1, 2001, 912 с, ил.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ МИКРОПРОФИЛЯ ПОВЕРХНОСТИ

Жуков Евгений Михайлович

*канд. техн. наук, доц. кафедры технологии машиностроения
Белгородского государственного технологического университета
им. В.Г. Шухова,
РФ, г. Белгород
E-mail: jonyj@intbel.ru*

Михарев Руслан Юрьевич

*студент кафедры технологии машиностроения Белгородского
государственного технологического университета им. В.Г. Шухова,
РФ, г. Белгород
E-mail: mikharev.ruslan@yandex.ru*

MODELING OF FORMING MICROMETRIC SURFACE PROFILE

Evgeny Zhukov

*candidate of Technical Sciences, associate professor of technology
of mechanical engineering of the Belgorod State Technological University
named after V.G. Shukhov,
Russia, Belgorod*

Ruslan Miharev

*student of technology of mechanical engineering
of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
Russia, Belgorod*

*Исследования выполнены в рамках гранта Проект ПСР № 2011-
ПР-146 договор № А-28/15 от 14.04.2015 г.*

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены вопросы моделирования процесса образования микропрофиля поверхности, получаемой фрезерованием с использованием средств вычислительной техники для регистрации и анализа сигнала измерительных приборов и регистрирующей аппаратуры. Анализ величины микропрофиля поверхности ведется по результатам бесконтактного метода измерения и оценки шага микронеровностей, позволяющим выполнить оперативную диагностику состояния поверхности или произвести её адекватную оценку. Достоверность математической модели подтверждена эмпирическими результатами обработки никелевого сплава в соответствии с рекомендациями производителя инструмента, и матрицей планирования факторного эксперимента, измерение шероховатости выполнялось с использованием профилографа-профилометра «Абрис-7ПМ».

ABSTRACT

In article questions the simulation of the formation of microprofile surface obtained by milling with the use of computer equipment for recording and analyzing signal measurement instruments and recording equipment. Analysis values microprofile surface conducted on the results of a non-contact method of measurement and evaluation steps microroughnesses, allowing to perform an immediate diagnosis condition of the surface or produce it adequate assessment. The reliability of the mathematical model is confirmed by the empirical results of the processing of the nickel alloy according to the instrument manufacturer's

recommendations, and the planning matrix fractional factorial experiment, the roughness measurement is performed using a profiler “Abris-7PM”.

Ключевые слова: структура; активный контроль; программа; математическое моделирование; контроль качества; бесконтактные измерения.

Keywords: structure; active control; program; math modeling; quality control; contactless measurement.

Поиск эмпирических зависимостей при оценке микропрофиля поверхности, получаемой фрезерованием, всегда связан с выполнением ряда экспериментов, требующих материальных и временных затрат [1], хотя при этом имеется возможность использования средств вычислительной техники для регистрации и анализа сигнала [2]. Появление аппаратных и программных средств для оценки шага микронеровностей [3] позволяет выполнить оперативную диагностику состояния поверхности или произвести её адекватную оценку. Регистрация мощности, затрачиваемой на снятие припуска, позволяет оценить технологические режимы фрезерования [4]. Всё это позволяет произвести сравнение полученных результатов экспериментов с моделью, которая позволит в дальнейшем не прибегать к экспериментам на оборудовании, а теоретически оценивать шероховатость.

В работе [5] проведен анализ образования микропрофиля поверхности. При выполнении следующих условий: обработка плоской поверхности заготовки сферической фрезой, высота гребешка может быть найдена:

$$h = R_{\phi} - \sqrt{R_{\phi}^2 - \left(\frac{S_z}{2}\right)^2}, \text{ мкм} \quad (1)$$

Выражение (1) действительно без учета важных условий – свойств материала и условий обработки: таких как сил резания, которые вызывают деформацию гребешка микропрофиля поверхности, оцениваемую с помощью программного обеспечения, в нашем случае *ELCUT*, на основе метода конечных элементов.

Для верификации математической модели была проведена экспериментальная обработка никелевого сплава в соответствии с рекомендациями производителя инструмента, и матрицей планиро-

вания дробно-факторного эксперимента, расчёты выполнены с использованием двумерной модели.

Силу, вызывающую деформацию получаемого профиля микронеровностей можно определить:

$$P_y = 0,35 \dots 0,4 (35t^{(1+0,85)} \cdot S_z^{(1+0,72)} \cdot 2\pi Rz / (2(R^2 - (R-t)^2))^{0,14}), \text{ кН} \quad (2)$$

Результаты анализа деформации поверхности представлены на рис. 1

Расчет теоретической высоты гребешка микропрофиля поверхности произведём по формуле:

$$h = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{S_z}{2}\right)^2}, \text{ мм} \quad (3)$$

Для проверки математической модели по бесконтактной оценке шага микронеровностей требуется выполнить обработку заготовки из никелевого сплава в соответствии с рекомендуемыми производителем режущего инструмента режимами обработки, затем выполнить оценку шага микронеровностей.

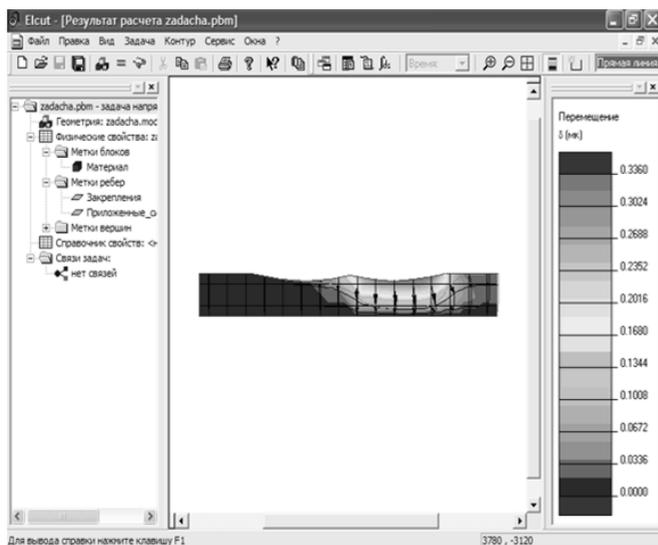


Рисунок 1. Анализ деформаций поверхностей получаемой детали

В качестве образца использовалась заготовка диаметром 100 мм и высотой 60 мм (рис. 2), на предварительно фрезерованной площадке (лыске) производилось фрезерование от края болванки, длина паза в каждом опыте составляла приблизительно 15 мм. Все полученные поверхности были пронумерованы путём клеймения пазов поверхности заготовки. Материалом заготовки является жаропрочный никелевый сплав ЖС6Н-ВИ, сплав, содержащий до 75 % никеля, именно этот сплав в современном производстве наиболее часто используется для изготовления формообразующих деталей для получения изделий из стекла. Большое содержание никеля в сплаве позволяет оценить его влияние на чистоту обрабатываемой поверхности.

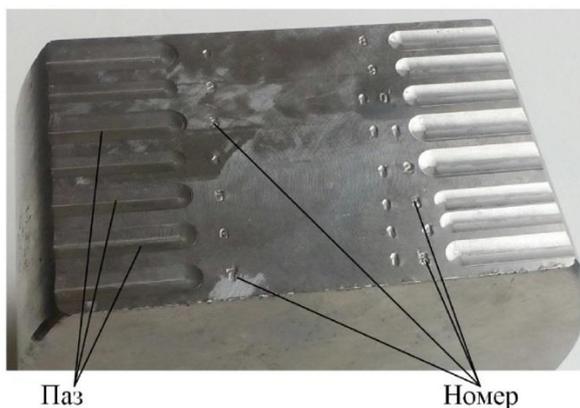


Рисунок 2. Обработанная заготовка для проведения эксперимента

В качестве инструмента для обработки была назначена концевая сферическая цельная твёрдосплавная фреза диаметром 12 мм, фреза имеет четыре зуба с углом винтовой канавки 12°.

Измерение шероховатости выполнялось с использованием прибора профилографа-профилометра «Абрис-7ПМ» на кафедре технологии машиностроения БГТУ им. В.Г. Шухова.

На следующем этапе выполнялось фотографирование поверхности цифровым микроскопом с $\times 50$ и $\times 200$ кратным увеличением [6].

Обработка поверхности заготовки производилась в соответствии со следующими технологическими условиями: диапазон скоростей резания от 15 до 35 м/мин, подач – 0,03 мм/зуб, глубина резания – от 0,19 до 0,55 мм. Эти параметры были назначены в соответствии с рекомендациями производителя инструмента.

Согласно результатам эксперимента обработка заготовки из жаропрочного сплава твёрдосплавной концевой саерической арезой выполняется с получением шероховатости поверхности менее 1 мкм. Для приемлемой вероятности определения шероховатости требуется предварительно найти коэффициент преобразования, отображающий соотношение шага микронеровностей к параметру Ra . Эта задача может быть выполнена при анализе результатов замеров полученной шероховатости Ra и шага микронеровностей на измеренной поверхности Sm , полученных по результатам экспериментальной обработки образца из жаропрочного сплава.

Коэффициент коррекции, полученный по результатам моделирования измерения высоты гребешка микронеровности нельзя использовать в качестве коэффициента перевода, так как он не полностью отражает влияние параметров технологического процесса и свойств материала заготовки, условий обработки на высоту микронеровностей получаемой поверхности. Требуется дополнительный анализ результатов измерений экспериментально обработанной поверхности, так как по результатам опытной обработки, с помощью проаилометра-проаилограаа произведены измерения всех полученных поверхностей. Согласно полученным данным коэффициент преобразования изменяется в широком диапазоне от 1,04 до $4,11 \cdot 10^{-6}$, при этом отклонение от среднего значения составляет в верхнюю сторону 59,4 % в нижнюю – 66,7 %, что в принципе не приемлемо для использования в качестве коэффициента преобразования найденного коэффициента преобразования. Для более точного определения коэффициента преобразования требуется проведение дополнительных экспериментов для последующей статистической обработки их результатов, а также проведения нескольких замеров одного и того же участка поверхности.

Известная величина коэффициента преобразования упрощает как программную, так и аппаратную реализацию приборов для определения шероховатости поверхности по величине шага, таких как описаны в работах [7; 8].

Список литературы:

1. Чепчуров М.С. Определение шага микропрофиля поверхности, полученной механической обработкой / М.С. Чепчуров, О.В. Егунов, С.Ю. Косулин, А.Г. Схиртладзе // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2011. – № 3. – С. 40–42.
2. Чепчуров М.С. Использование АЦП для регистрации и обработки аналогового сигнала в ПК / М.С. Чепчуров // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2008. – № 6. – С. 31–34.

3. Чепчуров М.С. Бесконтактный способ контроля шероховатости поверхности деталей пресс-форм и его реализация / М.С. Чепчуров, Ю.А. Афанасова // Технология машиностроения. – 2009. – № 11. – С. 15.
4. Чепчуров М.С. Контроль и регистрация основных параметров резания при обработке крупногабаритных деталей / М.С. Чепчуров // Технология машиностроения. – 2008. – № 3. – С. 11–12.
5. Чепчуров М.С. Обеспечение требуемой шероховатости при высокопроизводительной обработке никелевых жаропрочных сплавов / М.С. Чепчуров, А.Д. Короп, С.В. Старостин // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2010. – № 9. – С. 23–25.
6. Чепчуров М.С. Контроль и регистрация параметров механической обработки крупногабаритных деталей: монография / М.С. Чепчуров – Белгород: Изд-во Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2008. – 232 с.
7. Чепчуров М.С. Обработка отверстий в жаропрочных сплавах с контролем шероховатости поверхности / М.С. Чепчуров, И.А. Горбачев, А.Н. Феофанов // Технология машиностроения. – 2014. – № 8. – С. 13–17.
8. Челядинов Д.В. Реализация прибора подсистемы контроля шероховатости в АСУ контроля параметров технологического процесса механической обработки отверстий малого диаметра / Д.В. Челядинов, М.С. Чепчуров // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2007, Т. 12. – № 1. – С. 102–104.

СЕКЦИЯ

«МЕТОДОЛОГИЯ И ФИЛОСОФИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ»

СОЗДАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ, В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ И ТОПОГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

Рахимбаева Динара Жексенгалиевна

ассистент проф.

*Казахской Головной архитектурно-строительной академии,
Республика Казахстан, г. Алматы*

E-mail: dinara_8509@mail.ru

CREATION OF MODERN TOPOGRAPHICAL PRODUCTION AS A RESULT OF PERFORMANCE OF GEODETIC AND TOPOGRAPHICAL WORKS

Dinara Rakhimbaeva

*famulus Kazakh leading academy of architecture and civil engineering,
Kazakhstan, Almaty*

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассмотрены работы, выполняемые при создании современной топографической карты. В производстве технологических процессов картографо-геодезических предприятий и организаций должен быть положен технический принцип. В соответствии с техническим принципом рассчитываемый технологический процесс должен полностью обеспечивать выполнение всех требований потребителей. Технологический процесс изготовления топографических карт должен выполняться с наиболее полным использованием передовых технологических возможностей и средств производства, которые полностью будут соответствовать мировым стандартам.

ABSTRACT

For a basis of this article, the example on creation of a modern topographic map was followed. In production of technological processes of the cartographic-geodetic enterprises and organizations the technical principle has to be put. According to the technical principle the counted technological process has to provide implementation of all requirements of consumers completely. Technological process of production of topographic maps has to be carried out with the fullest use of the advanced technological capabilities and means of production which will conform completely to the international standards.

Ключевые слова: топографические карты; современная обработка топографической карты; масштаб.

Keywords: topographic maps; modern processing topographic maps; scale.

В начале XX века при топографических съемках использовали сначала наземные, а затем аэрофототопографические съемки. Разработаны и внедрены в производство аэрофототопографические технологии создания карт, которые являются основной в топографо-геодезическом производстве.

Создание топографической карты методом стереотопографической съемки включает в себя:

- составление технического проекта;
- аэрофотосъемка;
- плано-высотное обоснование, геодезические работы;
- фотограмметрическая обработка аэрофотоснимков;
- камеральное и полевое дешифрирование аэрофотоснимков;
- оформление оригинала карты;
- редакционная проверка и приемка оригиналов карт.

Топографическая продукция должна оформляться в соответствии с действующими «Условными знаками», образцами шрифтов и сокращениями.

Карты должны быть созданы в равноугольной поперечно-цилиндрической проекции Гаусса, вычисленной в шестиградусных зонах по элементам эллипсоида Красовского [2].

Топографическая съемка производится в ортогональной проекции в масштабах 1:10 000 и более. Плановой и высотной основой ее служат пункты государственных геодезических плановых и высотных сетей. Топографическая съемка включает в себя построение съемочной сети, производство полевой подготовки аэрофотоснимков и их дешиф-

рирование, изображение горизонталями рельефа местности, установление собственных названий населенных пунктов, рек, озер, урочищ [4].

Топографические карты необходимо систематически обновлять. Процесс старения карты не является одинаковым для различных районов. Местность изменяется быстрее, если она больше осваивается человеком. Соответственно и старение карты такой местности происходит быстрее.

В слабо освоенных и мало обжитых районах на местности в течение десятилетий не возникает существенных изменений. Карты таких районов стареют медленно. Опыт показал, что карты наиболее важных для развития производительных сил и обороны страны обжитых районов следует обновлять через 6–10 лет, а карты других районов – через 10–15 лет и более [2].

Рассмотрим пример выполнения топографических работ в Кызылординской области Республики Казахстан. Объектом служит – «Зона затопления при разливе реки Сырдарья»

В ходе работы выполнена аэрофотосъемка и обследование пунктов ГГС полигонометрии 1 разряда, нивелирование IV класса с целью создания цифровых планов масштаба 1:2000 стереотопографическим методом. Система координат местная, система высот Балтийская. Выбрана квадратная разграфка с размерами рамок 50×50 см, где рамками служат километровые линии, нумерация планшетов условная [4].

Определение координат пунктов геодезической сети сгущения выполнено с помощью спутниковых навигационных систем GPS типа RS 9500 и электронных тахеометров производства Швейцарской фирмы Leica.

Обследованы пункты геодезической сети прежних лет и находящиеся на заданном участке. Вследствие утраты значительной части пунктов полигонометрии прежних лет было предусмотрено развитие сети полигонометрии 1 разряда. Пункты полигонометрии закреплены на местности центрами типа 158, 160 оп. Знак [6].

Для сгущения высотной основы по всем пунктам полигонометрии 1 разряда проложены нивелирные ходы IV класса, а также отметки пунктов были получены с применением GPS.

Оценка качества произведенных наблюдений выполнена по формуле:

$$m = \frac{\sqrt{\Delta\chi^2 + \Delta\gamma^2}}{2}$$

где: Δx , Δy – разность координат пунктов работ прежних лет.
Среднее расхождение:

$$M_{\text{ср}} = \sum m/n,$$

где: n – число пунктов.

Оценка точности определения высот:

$$\Delta h_{\text{ср}} = \sum \Delta h/n,$$

где: Δh – разность высот пунктов работ прежних лет, и высот определенных приемниками GPS.

Дешифрирование контуров, элементов рельефа и прочее выполнены на увеличенных аэроснимках. Стереотопографическая съемка рельефа и контуров в масштабе 1:2000 с сечением рельефа через 0,5 метра выполняется в фотограмметрическом программном обеспечении PhotoMOD. Эта программа предназначена для создания бесшовной однородной по яркости мозаики высокой геометрической точности [2]. Так же PhotoMOD поддерживает работу с геопривязанными цифровыми растровыми изображениями и обеспечивает поддержку любого числа каналов и изображений [3].

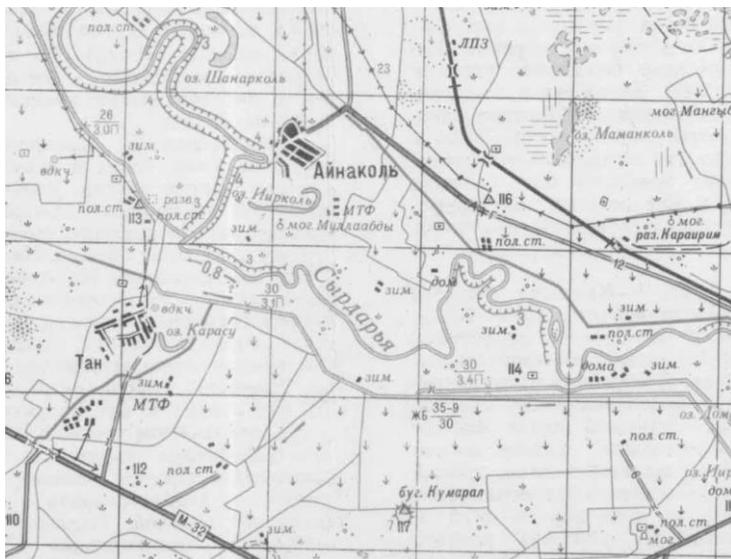


Рисунок 1. Цифровая карта р. Сырдарья Республика Казахстан

Нынешняя топографическая продукция, создаваемая в результате выполнения геодезических и топографических работ, является вполне завершенной, готовой продукцией (каталоги координат пунктов и реперов, фотопланы, фотосхемы, геодезические сооружения на местности – пункты триангуляции, реперы, опознаки и др.), эта продукция является основой для составления и издания карт различных масштабов и назначений для разработки перспективных и текущих планов развития народного хозяйства, проектирование размещение промышленных предприятий, энергетических сооружений, населенных пунктов, железных дорог, лесоустроительных, сельскохозяйственных мероприятий. Все топографические карты производят в стандартном ряде масштабов единых условных знаков для каждого из масштабов и в общей разграфке и обозначения листов карты, покрывающих весь земной шар [2].

Технические требования к создаваемой современной топографической продукции [1]:

- Достоверно и точно отображать местоположение и современной состояние объектов местности;
- Отображать с необходимой полнотой, определяемой масштабом карты, характерные черты местности;
- Предоставить возможность определения координат (прямоугольные, географические) и высоты их над уровнем неба, а также превышения одних точек над другими и азимуты направлений с одного местного предмета на другой;
- Быть наглядной, удобочитаемой, позволять быстро оценивать местность и легко на ней ориентироваться.

Вывод:

Быстро растущие потребности народного хозяйства, обороны страны стимулируют создание новых карт для решения различных народнохозяйственных и научных задач. Согласно Постановлению Правительства Республики Казахстан от 1 марта 2011 года № 208 «О Стратегическом плане Агентства Республики Казахстан по управлению земельными ресурсами на 2011–2015 годы» [6], к главным проблемам в отрасли геодезии и картографии Агентства относится состояние картографической и топографической обеспеченности на территории РК, так как степень современности карт составляет 10–20 лет. В связи с чем, необходимо вести своевременные работы в сфере обновления топографо-геодезической продукции.

Список литературы:

1. Агапов С.В. Фотограмметрия сканерных снимков, – М. Картгеоцентр – Геодезиздат, 1996, 176 с.
2. Агафонов И.Д., Бурбан П.Ю., Технология создания цифровых топографических карт масштаба 1:100 000. Геодезия и картография. 2005, № 4, С. 36–38.
3. Алябьев А.А., Опыт работы ФГУП «Уралгеоинформ» по созданию ГИС различного уровня. Геодезия и картография. 2005, № 10, С. 30–36.
4. Бирюков В.С., Новоселов Д.И., О понятиях «объект» и «изображение» в топографическом дешифрировании. Геодезия и картография. 2005, № 4, С. 45–48.
5. Вершинин В.И., Воронин Е.Г., Дубенсков С.О., Курочкин В.С., Скрипнюк В.В., К оценке метрологических параметров устройств вывода цифровых изображений. Геодезия и картография. 2005, № 4, С. 41–45.
6. Постановление Правительства Республики Казахстан от 1 марта 2011 года № 208 «О Стратегическом плане Агентства Республики Казахстан по управлению земельными ресурсами на 2011–2015 годы» // Казахстанская правда – 2011, июль – 2016 г. № 222 (26643).

СЕКЦИЯ

«ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ, РАДИОТЕХНИКА»

ВЫБОР СТАТИСТИЧЕСКИ УСТОЙЧИВОЙ ПРОЦЕДУРЫ ИСКЛЮЧЕНИЯ ВЫБРОСОВ

Попов Александр Михайлович

*канд. техн. наук, кафедра высшей математики,
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова,
РФ, г. Санкт-Петербург,
E-mail: amropov77@mail.ru*

SELECTION OF STATISTICALLY STABLE PROCEDURES FOR REMOVING OUTLIERS

Alexander Popov

*candidate of Sciences, Department of mathematics
Baltic state technical university "VOENMEX" named after D.F. Ustinov,
Russia, St. Petersburg*

АННОТАЦИЯ

В статье методами математического моделирования исследуется эффективность двух тестов по исключению выбросов в массиве градуировочных данных.

ABSTRACT

In article by the methods of mathematical modeling investigates the efficiency of two tests for the exclusion outliers in the array calibration data.

Ключевые слова: метод Граббса; метод Роснера; выбросы.

Keywords: Grubbs' test; generalized ESD test; outliers.

Многие статистические методы чувствительны к наличию выбросов. Например, простой расчет среднего и стандартного

отклонения могут быть искажены единственным грубым наблюдением в данных.

Под выбросом, чаще всего, понимают наблюдение, которое значимо отличается по своей величине от остальных наблюдений выборки.

Проверка на выбросы должна быть обычной процедурой в каждом анализе данных. Потенциальные выбросы должны быть проинспектированы на предмет их возможной ошибочности. Если данное является ошибкой, оно должно быть по возможности исправлено или удалено. Если нет причин предполагать, что выделяющееся значения – ошибка, его удаление следует проводить после тщательного рассмотрения. В этом случае может быть оправдано использование робастных статистических процедур, которые часто снижают вес, с которым выбросы учитываются в ходе обработки данных.

Наряду с аналитическими алгоритмами для обнаружения очевидных выбросов могут быть использованы графические методы, например, гистограмма или «ящик с усами». Графическое представление данных помогает определиться с выбором алгоритма, то есть тестировать один или несколько выбросов, а также обнаружить возможные маскирующий или засасывающий эффекты.

В литературе предложено множество параметрических тестов для обнаружения выбросов. Их можно сгруппировать по следующим характеристикам: тип распределения, моделирующего данные; алгоритм тестирующий единственный выброс или группу выбросов; если тест спроектирован для определения серии выбросов, следует ли указывать точное число выбросов или достаточно указать для него верхнюю границу.

В настоящей работе исследуются наиболее распространенные тесты, основанные на критерии расстояния от среднего: последовательный тест Граббса (Grubbs' Test) [1, с. 1–21], который рекомендуется для определения одиночного выброса, и блочный тест Роснера (General Extreme Studentized Deviate (ESD) Test) [2, с. 165–172], который требует только верхнее значения числа возможных выбросов в выборке и рекомендуется, когда точное число выбросов в выборке не известно.

Цель работы – исследовать эффективность указанных тестов в условиях специфики массива данных градуировочных испытаний, а именно:

1. сравнительно небольшой объем выборки наблюдений;

2. возможность наличия в выборке нескольких выбросов, причем число их заранее неизвестно;

3. разнообразие и неконтролируемость законов распределений вероятностей основной совокупности наблюдений.

Тест Граббса используется для определения единственного выброса и применяется к данным, которые распределены по нормальному закону и имеют одинаковый разброс. Тест Граббса определяет следующие типы гипотез: нулевая гипотеза H_0 – в выборке нет выбросов; альтернативная гипотеза H_1 – выборка содержит в точности один выброс. В качестве статистики критерия в двухсторонней версии теста используется наибольшее абсолютное отклонение выборочного среднего в единицах стандартного отклонения

$$G = \frac{\max|Y_i - \bar{Y}|}{s}, \quad (1)$$

где: \bar{Y} и s – означают, соответственно, выборочное среднее и стандартное отклонение. При уровне значимости α , нулевая гипотеза отклоняется, если

$$G > \frac{n-1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\left(t_{\left(\frac{\alpha}{2n}, n-2\right)}\right)^2}{n-2 + \left(t_{\left(\frac{\alpha}{2n}, n-2\right)}\right)^2}} \quad (2)$$

где: $t_{\left(\frac{\alpha}{2n}, n-2\right)}$ – критическая точка распределения Стьюдента с $n - 2$ степенями свободы.

Тест Роснера используется для определения одного или нескольких выбросов и применяется к данным, которые распределены приблизительно нормально и имеют одинаковый разброс. В тесте Роснера требуется определить лишь верхнюю границу возможного числа выбросов r вместо указания их точного числа. В настоящей работе принято $r = \lfloor \sqrt{n} \rfloor$. По существу, тест Роснера реализует r отдельных тестов: тест на один выброс, тест на два выброса и так далее вплоть до r выбросов. Тест Роснера определяет следующие типы гипотез: нулевая гипотеза H_0 – в выборке нет выбросов; альтернативная гипотеза H_1 – выборка содержит до r выбросов включительно. В качестве статистики критерия в двухсторонней версии теста используется

$$R_i = \frac{\max_i |x_i - \bar{x}|}{s}, \quad (3)$$

где: \bar{x} и s означают соответственно выборочное среднее и стандартное отклонение. Исключив наблюдение, которое максимизирует $|x_i - \bar{x}|$, заново рассчитывается приведенная выше статистика по $n - 1$ наблюдениям. Эта процедура повторяется пока все r наблюдений не будут удалены. Для каждого, полученного таким образом, значения R_1, R_2, \dots, R_r рассчитываются критические значения λ_i :

$$\lambda_i = \frac{t_{(p,n-i-1)}(n-i)}{\sqrt{(n-i-1+(t_{(p,n-i-1)})^2)(n-i+1)}}, \quad i = 1, 2, \dots, r, \quad (4)$$

где: $t_{(p,v)}$ — означает квантиль уровня p распределения Стьюдента с v степенями свободы и $p = 1 - \frac{\alpha/2}{n-i+1}$. Число выбросов определяется путем нахождения наибольшего i , такого что $R_i > \lambda_i$.

На этапе моделирования выброс в выборки объемом $n = 10, 20$ вводился случайно, при этом создавались маскирующий и засасывающий эффекты. Маскирующий эффект проявлялся в случае нескольких выбросов в выборке. Например, при тестировании единичного выброса методом Граббса, в то время, как на самом деле их несколько, эти дополнительные выбросы влияли на значение тестовой статистики, в результате чего ни один выброс не был обнаружен. Засасывающий эффект проявлялся в случае указания числа выбросов больше фактического. Например, при тестировании двух и более выбросов методом Роснера, в то время как на самом деле выброс был единственный — все множество подозрительных наблюдений объявлялось выбросами.

Основная совокупность данных генерировалась из широкого класса распределений, который включает: нормальное распределение $N(0,1)$, равномерное распределение $R(-1.73, 1.73)$, экспоненциальное распределение $E(1)$. Уровень значимости выбирался равным $\alpha = 0.1$. Умеренным выбросом считалось наблюдение из интервала $(3.90 \pm 0.05)\sigma$; большим выбросом — из интервала $(4.5 \pm 0.5)\sigma$. Эффективность отдельных процедур при каждом сочетании влияющих факторов оценивалась по схеме «успех—отказ» по каждому типу выбросов и их комбинаций по сериям из 1000 расчетов.

Вычислительный эксперимент проводился на языке и в программной среде статистического моделирования R [3].

В таблице 1 приведены усредненные значения частот исключения аномальных наблюдений.

Таблица 1.

Усредненные значения частот исключения выбросов

Метод	Число выбросов	Нормальное		Равномерное		Экспоненциальное	
		Объем выборки					
		10	20	10	20	10	20
Грabbca	1	0.84	0.94	0.83	0.97	0.77	0.84
	2	0.46	0.68	0.49	0.67	0.41	0.69
	3	0.04	0.40	0.03	0.41	0.13	0.38
	4	–	0.06	–	0.05	–	0.12
Роснера	1	0.83	0.93	0.84	0.97	0.92	0.94
	2	0.75	0.89	0.70	0.94	0.88	0.93
	3	0.66	0.86	0.60	0.92	0.80	0.90
	4	–	0.85	–	0.91	–	0.86

Результаты моделирования позволяют сделать следующие выводы:

1. маскирующий эффект является основной причиной низкой эффективности последовательного применения теста Грabbca, так как выбросы маскируют друг друга, в результате чего делается ложный вывод об их отсутствии;

2. блочная процедура Роснера имеет эффективность не ниже 0.8 во всем диапазоне 1 – 4 выбросов при объемах выборок не ниже 20 во всем классе рассматриваемых распределений;

3. последовательная процедура Грabbca сравнима с блочной процедурой Роснера при одном выбросе и заметно уступает ей при большем числе выбросов;

4. комбинация из умеренных и больших выбросов обеими процедурами исключается реже, чем соответствующие выбросы по отдельности из-за эффекта «маскировки»;

5. снижение объема выборки до 10 ухудшает эффективность процедуры Грabbca на 10 %, 30 % и 80 %; процедуры Роснера на 10 %, 15 % и 20 % для одного, двух и трех выбросов соответственно.

Таким образом, в реальных условиях анализа данных градуировочных наблюдений целесообразно ориентироваться на блочную процедуру Роснера, которая с вероятностью не ниже, чем 0.8 исключает умеренные выбросы и практически достоверно – выбросы высокого уровня.

Список литературы:

1. Frank E. Grubbs. Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples // Technometrics, 1969. – Vol. 11. – № 1.
2. Rosner B. Percentage Points for a Generalized ESD Many Outlier Procedure. // Technometrics, 1983. – Vol. 25. – № 2.
3. Core Team R.: A Language and Environment for Statistical Computing. // R Foundation for Statistical Computing, 2015.

СЕКЦИЯ

«СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ СТЕНКИ ДВУТАВРОВЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ ДЕЙСТВИИ РАВНОМЕРНО-РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКИ

Абдуллаев Абдулла Рафикович

*соискатель, ст. преподаватель кафедры «Автомобильные дороги
и аэродромы» Махачкалинского филиала Московского автомобильно-
дорожного государственного технического университета (МАДИ),
РФ, Республика Дагестан, г. Махачкала
E-mail: aabdul9.05@yandex.ru*

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE STRENGTH OF THE WALL CONCRETE I-BEAMS UNDER THE ACTION OF UNIFORMLY-DISTRIBUTED LOAD

Abdulla Abdullayev

*applicant, senior lecturer of the Department
“Automobile roads and aerodromes” Makhachkala branch
of Moscow automobile and road state technical University (MADI),
Russia, Republic of Dagestan, Makhachkala*

АННОТАЦИЯ

Проведены экспериментальные исследования по изучению зависимости прочности стенки двутавровых железобетонных балок от длины при действии равномерно-распределенной нагрузки.

Экспериментальным путем установлено, что с уменьшением длины балок при действии равномерно-распределенной нагрузки, относительная прочность стенки увеличивается.

В результате сравнительного анализа результатов экспериментальных исследований выявлено, что прочность стенки двутавровых железобетонных балок при действии равномерно-распределенной

нагрузки выше прочности аналогичных балок, испытанных при действии сосредоточенных сил.

ABSTRACT

Experimental studies of the dependence of the strength of I-beams reinforced concrete walls length under the action of uniformly-distributed load.

We have found that with a decrease in the length of beams under the action of uniformly-distributed load, the relative strength of the wall increases.

As a result of comparative analysis of experimental results revealed that the strength of the wall concrete I-beams under the action of uniformly distributed loads higher than the strength of similar beams tested under the action of concentrated forces.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, равномерно-распределенная нагрузка, двутавровые железобетонные балки, прочность стенки, длина балок, наклонные трещины, поперечная сила.

Keywords: experimental studies, uniformly distributed load, reinforced concrete I-beams, strength of walls, girders, inclined cracks, shear force.

Тонкостенные железобетонные балки, загруженные распределенной нагрузкой, достаточно часто встречаются в строительстве. Прочность таких конструкций в приопорных зонах, где поперечные силы имеют максимальные значения и наблюдается разрушение стенки, до настоящего времени практически мало изучена. Из отдельных экспериментов Ф. Леонгардта и Р. Вальтера [2] следует, что поперечные силы в зоне разрушения балок с распределенной нагрузкой примерно в 1,5 раза выше чем в аналогичных конструкциях, испытанных сосредоточенными силами.

Учитывая существенную зависимость прочности от характера загрузки, с целью проверки и дополнения этих результатов, нами были проведены экспериментальные исследования прочности тонкостенных двутавровых балок различной длины, загруженных равномерно-распределенной нагрузкой. Были изготовлены и испытаны до разрушения 4 балки из тяжелого бетона с кубиковой прочностью 25,4 МПа и 27,7 МПа и длиной между опорами 4 h_0 , 6 h_0 , 8 h_0 , 10 h_0 . Размеры поперечного сечения и армирование нижних полок 4Ø 16 А-500, верхних – 4Ø 16 А – 400, поперечное армирование стенки 2 Ø 6 А – 300 с шагом 8 см (рис. 1).

При изготовлении образцов особое внимание уделялось качеству заполнителей, тщательности подбора состава бетона, точности изготовления арматурных каркасов и самих образцов. В качестве заполнителей применялись промытый и фракционированный щебень крупностью $5 \div 15$ мм, дробленый и промытый песок фракции $2,5 \div 5$ мм и морской песок – $0 \div 1,25$ мм. Бетон приготовлен на портландцементе марки 400 с введением 0,2 % добавки СДБ и осадку конуса $7 \div 9$ см. Арматурные каркасы опытных образцов с целью обеспечения высокой точности, изготавливались в специальных кондукторах, а сами балки в сборных металлических формах. Уплотнение бетона осуществлялось с помощью глубинного и площадочного вибраторов.

Для контроля прочности одновременно с балками изготавливались кубы размером $15 \times 15 \times 15$ см. и призмы $10 \times 10 \times 40$ см. Фактические размеры образцов, призмная прочность бетона и опытные значения разрушающих усилий приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Характеристики и результаты испытания опытных образцов балок

Шифр балки	Относительная длина l/h_0	Размеры сечения, (см)		Прочность бетона R_b , МПа	Общая нагрузка на балку по манометру $2P$, кН	Разрушающая сила Q , (кН)		Относительная прочность $Q/R_b b h_0$
		b	h ₀			на опоре	в зоне разрушения*	
БД-III-1	4	5,1	32,5	21,6	440	222,0	177,6	0,496
БД-III-2	6	5,0	32,5	19,8	350	177,6	142,2	0,448
БД-III-3	8	5,0	32,0	19,8	345	175,7	140,6	0,443
БД-III-4	10	5,0	32,3	21,6	375	188,5	150,8	0,432

* – усилия в зоне разрушения приняты равными 80 % от Q_{max} на опоре

Все балки после набора прочности, были испытаны на специальной установке, где с помощью системы траверс имитировалась равномерно-распределенная нагрузка. Расстояние между силами принято 160 мм, кроме балки БД-III-1, где оно было равно 80 мм (Рис. 1). Нагрузка на опытные образцы создавалась

с помощью 50-ти тонного домкрата и ручного гидравлического насоса, а измерение ее величины производилось по манометру.

Для замера деформаций поперечной и продольной арматур и измерения прогибов на опытные образцы устанавливались индикаторы часового типа ИЧ-2, ИЧ-10 (Рис. 1). Деформации укорочения бетона стенки между наклонными трещинами измерялись с помощью тензометрических датчиков, наклеенных на расстоянии h_0 от опоры под углом 45° к продольной оси балок.

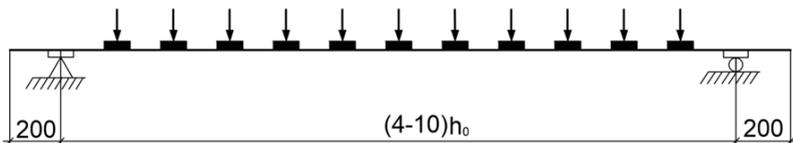
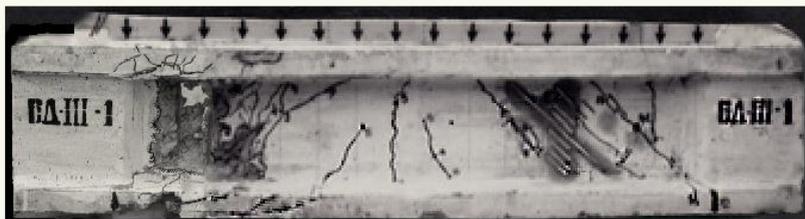


Рисунок 1. Схема испытания опытных образцов балок

Первые наклонные трещины появились как правило в средней части по высоте стенки в приопорных зонах балок, где действуют максимальные поперечные силы. При дальнейшем нагружении в стенках балок образовывалось множество трещин, угол наклона которых изменялся от 90° в середине пролета балки до $42^\circ \div 45^\circ$ в приопорных зонах. Усилия образования первых наклонных трещин в стенке составляли около $15 \div 20\%$ от разрушающих нагрузок.

Все опытные балки разрушились вследствие раздробления бетона стенки от сжатия на расстоянии $(0,5 \div 1) h_0$ от опоры при этом каких-нибудь признаков близости разрушения по наклонным сечениям не обнаружено и полки балок остались неповрежденными за исключением балки БД-III-4 с максимальной длиной $l = 10 h_0$, где наблюдалось разрушение полки у опоры после раздробления бетона стенки (Рис 2).



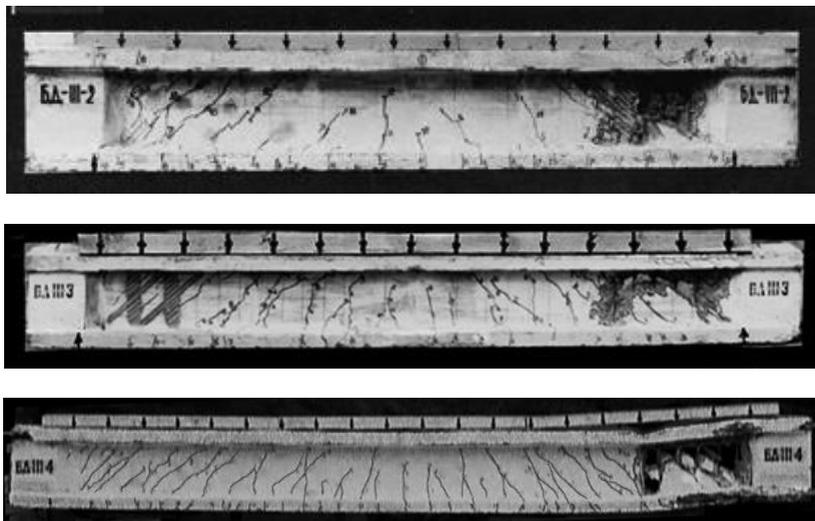


Рисунок 2. Опытные образцы балок после испытания

По полученным результатам построена зависимость относительной прочности ($Q/R_b b h_0$) от относительной длины балок (l/h_0) (Рис. 3). Здесь же приведена опытная зависимость относительной прочности стенки от длины зоны среза (c/h_0) по результатам испытаний аналогичных опытных образцов балок с $\mu_{sw}=1,5\%$ на действие двух сосредоточенных сил при длине зоны среза $c=(1\div 4)h_0$, проведенных ранее [1]. Максимальные значения прочности балок обеих серий, очевидно имеет место при $l/h_0 = 0$, т. е. при местном сжатии. В зависимости от количества поперечного армирования значение $2P/R_b b h_0$ для опытных образцов при местном сжатии изменяется от 0,8 ($\mu_{sw}=0$) до 0,94 ($\mu_{sw}=1,5\%$).

Как видно из рис. 3 и табл. 1, с уменьшением длины балок с распределенной нагрузкой от $10h_0$ до $4h_0$, относительная прочность стенки увеличивается примерно на 30%. Прочность образцов при распределенной нагрузке на 25÷50% выше прочности аналогичных балок с таким же поперечным армированием $\mu_{sw}=1,5\%$, испытанных при действии сосредоточенных сил.

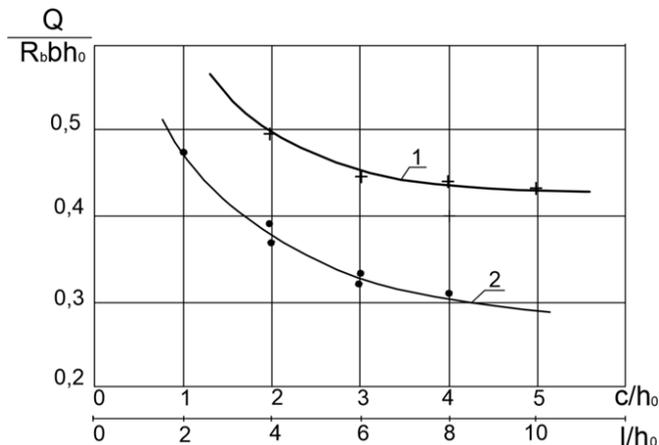


Рисунок 3. Зависимость относительной прочности стенки от длины балок с распределенной нагрузкой (1) и длины зоны среза балок с сосредоточенной нагрузкой (2)

Таким образом, можно сделать вывод о том, что характер нагрузки (распределенная или сосредоточенная) оказывает существенное влияние на прочность стенки двутавровых железобетонных балок.

Список литературы:

1. Алиев Г.С. Аваев Н.М., Абдуллаев А.Р. Экспериментальные исследования зависимости прочности стенок двутавровых железобетонных однопролетных и консольных балок от длины зоны среза при действии поперечных сил // Актуальные вопросы строительства: научно-тематич. сб. – Махачкала: ДГТУ, 2004. – С. 29–34.
2. Leonhardt F. und Walter R. Beiträge zur Behandlung der Schubprobleme im Stahlbetonbau. In.: “Beton und Stahlbetonbau”. 1983, Heft 8.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА СВОЙСТВА СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ

Лазарева Татьяна Леонидовна

*канд. техн. наук, доц. кафедры «Автомобильные дороги»,
Тихоокеанский государственный университет,
РФ, г. Хабаровск*

Куликова Елена Сергеевна

*старший преподаватель кафедры «Автомобильные дороги»,
Тихоокеанский государственный университет,
РФ, г. Хабаровск
E-mail: kulikovaes@mail.ru*

STUDY OF THE INFLUENCE OF INDUSTRIAL WASTES ON THE PROPERTIES OF WALL CERAMICS

Tatyana Lazareva

*candidate of Science, professor of Pacific National University,
Russia, Khabarovsk*

Elena Kulikova

*lecturer of Pacific National University,
Russia, Khabarovsk*

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены вопросы использования техногенных отходов промышленности в производстве керамического кирпича методом пластического формования.

ABSTRACT

This article reviews how to use man-made waste industry in the production of ceramic brick by a method of plastic molding.

Ключевые слова: глина, свойства, добавки, исследование, результат, качество, сушка, обжиг, кирпич керамический.

Keywords: clay, properties, supplements, research, result, quality, drying, firing, ceramic brick.

Сырьем для производства керамического кирпича на кирпичном заводе ЗАО «Корфовский каменный карьер» является глина Краснореченского месторождения. По своим свойствам, исследуемая глина относится к низкодисперсному, среднепластичному сырью с числом пластичности 12–16, со средней чувствительностью к сушке и высоким содержанием красящих оксидов (Fe_2O_3 – 3,3 %). Глина Краснореченского месторождения является также легкоплавким, слабоспекающимся сырьем с температурой обжига 900–1000°C. Керамический кирпич, изготовленный из такой глины, характеризуется повышенной плотностью и низким термическим сопротивлением, он имеет пониженный показатель водопоглощения, что препятствует хорошему сцеплению поверхности кирпича со строительным раствором. В процессе сушки и обжига дает значительную усадку, что нередко приводит к образованию трещин и снижению марочной прочности.

Для частичного устранения этих недостатков в такие глины рекомендуется вводить отощающие и выгорающие добавки. На кирпичном заводе № 3 в качестве таких добавок используют золошлаковые отходы ТЭЦ-1 или древесные опилки, процент которых составляет от 12 до 15 % от общей массы сырьевой шихты.

Современные ресурсосберегающие технологии позволяют использовать различные техногенные отходы промышленности в производстве стеновой керамики без ухудшения качества. Например, в качестве отощителей могут быть использованы молотые шлаки и золы, молотые отходы керамического производства (шамот), горелые породы, вскрышные породы. Для снижения плотности керамики в сырьевую массу вводят различные органические выгорающие добавки – отходы углеобогащения, опилки, молотую кору, торфяную крошку.

В исследуемой глине Краснореченского месторождения в качестве добавки к глинистому сырью рекомендована к использованию мелкодисперсная фракция зол из золоотвалов ТЭЦ-1 с размером частиц от 30 до 200 мкм. Эта фракция представляет собой остеклованные микросферы (ОМС), которые на 85–90 % состоят из аморфного стекла алюмосиликатного состава, и на 8–10 % – из кристаллических веществ (кварца, муллита, гематита). Остеклованные микросферы (ОМС) – это сыпучее вещество с низкой плотностью – 550–600 кг/м³, в то время как средняя плотность исходной золы – 960 кг/м³.

Фракция остеклованных микросфер может быть легко выделена из общей массы золошлака методом флотации или воздушной

классификации, ее количественное содержание в общей массе золы составляет 35–40 %. Пористость остеклованных микросфер – более 70 %, поры в основном закрытые, округлой формы.

Сравнительный химический состав остеклованных микросфер и золошлаковых отходов представлен в табл. 1.

Таблица 1.

Химический состав золошлаков и ОМС ТЭЦ–1 г. Хабаровска

Наименование отходов	Содержание оксидов, % по массе					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O, Na ₂ O
ОМС	62,7	24,03	5,45	4,06	1,89	1,34
Золошлак ТЭЦ-1	63,96	19,97	7,53	7,16	0,61	1,40

Из данных, приведенных в этой таблице видно, что фракция ОМС характеризуется повышенным содержанием SiO₂, а также значительным количеством Al₂O₃ – основных компонентов аморфного стекла, одновременно в ней наблюдается повышенное содержание железа, которое играет роль плавня при образовании стекловидного расплава.

В строительной лаборатории кафедры «Автомобильные дороги» проводились исследования влияния добавок древесных опилок, золы и ОМС на свойства керамического кирпича с целью оптимизации состава сырьевой шихты. Формование образцов осуществлялось методом пластического формования под давлением 25 МПа при влажности сырьевой шихты 22 %. Данный режим выбран с учетом традиционных способов формования строительного кирпича.

В результате испытания образцов установлено, что все три добавки, введенные в состав шихты в количестве до 30 %, снижают усадку керамики в процессе сушки и обжига, причем наиболее эффективно проявляется отошающее действие ОМС. Уменьшение усадочных свойств керамической массы снижает трещинообразование в процессе сушки и обжига кирпича и положительно сказывается на его качестве. Некоторое исключение в этом отношении составляют древесные опилки. Высокое содержание опилок в сырьевой шихте проявляется в этом плане отрицательно, что связано с их способностью к набуханию и последующей активной усадке.

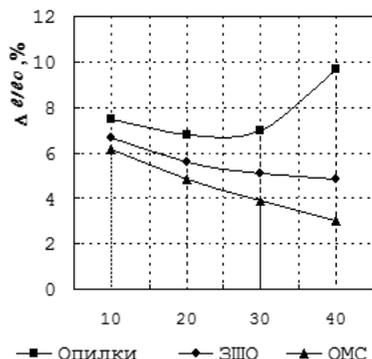


Рисунок 1. Влияние добавки отходов на усадочные свойства керамики

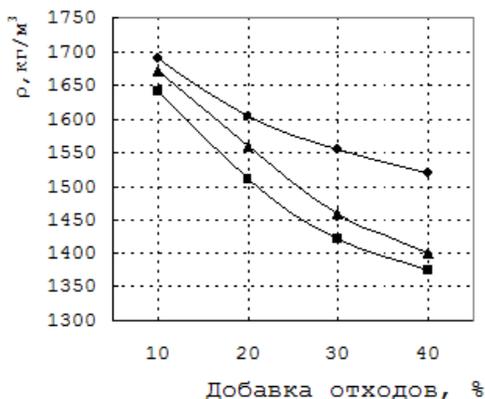


Рисунок 2. Влияние добавки отходов на на плотность керамики

Все исследуемые добавки характеризуются высокой пористостью, кроме того, в процессе обжига органика полностью выгорает, что приводит к снижению плотности образцов керамики от 1800 кг/м³ до 1400–1500 кг/м³ (рис. 2). С повышением пористости происходит увеличение показателя водопоглощения образцов (рис. 3). Показатель водопоглощения косвенно характеризует способность керамики образовывать прочное сцепление со строительным раствором, и оптимальное значение этого показателя должно находиться в пределах 6...14%. Дальнейшее увеличение водопоглощения отрицательно сказывается на морозостойкости материала.

Сравнение влияния на свойства керамики добавок золошлаковых отходов и ОМС позволяет отметить одну особенность – добавка ОМС проявляет свое влияние на показатель водопоглощения в меньшей степени, чем золошлаковые отходы. Это связано с преобладанием в ОМС закрытых пор, в которые вода не попадает. Отсюда следует еще один вывод – добавка ОМС повышает морозостойкость и долговечность изделий, улучшает их теплоизоляционные свойства. Важнейшей характеристикой строительного кирпича является его прочность, которая характеризуется показателем сопротивления сжатию.

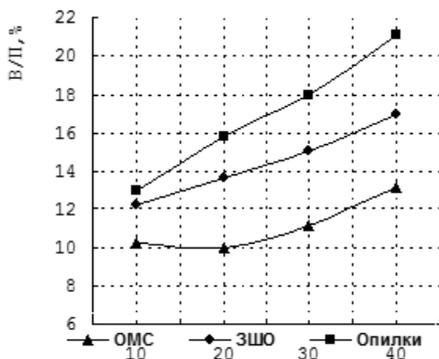


Рисунок 3. Влияние добавки отходов на показатель водопоглощения

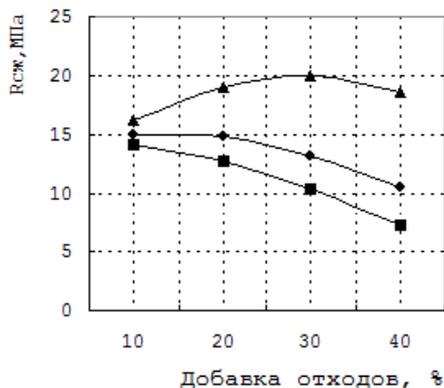


Рисунок 4. Влияние добавки отходов на прочность керамического кирпича

Исследования показали, что при введении золы или древесных опилок прочность кирпича снижается пропорционально количеству добавки. Особенно это проявляется при введении в сырьевую массу опилок, так как они образуют в керамике неоднородную по размерам и направленности систему пор (рис. 4).

Введение ОМС, напротив, способствует возрастанию прочностных характеристик. Это объясняется тем, что при обжиге в диапазоне 950–1000°C из полиминеральных глин и остеклованных микросфер, наряду со стекловидным расплавом, образуются муллитоподобные и анаритоподобные кристаллические соединения, что обеспечивает создание прочного алюмосиликатного каркаса керамических материалов.

В результате проведенных испытаний установлено, что:

- ОМС является наиболее эффективной добавкой в составе шихты для получения качественных стеновых материалов;
- оптимальная дозировка ОМС составляет от 20 до 25 %;
- использование исследуемых составов шихт с добавкой ОМС позволит получить керамический кирпич с прочностью при сжатии от 15 до 20 МПа (марки 150–200) при средней плотности 1400 кг/м³ и водопоглощении 12 %.

Таким образом, внедрение в производство керамики добавок ОМС на базе золошлаковых отходов ТЭЦ-1 г. Хабаровска позволит интенсифицировать технологию производства кирпича и повысить его качество.

Список литературы:

1. ГОСТ 530-2012. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия.
2. Ярмолинская Н.И. Отходы теплоэнергетической промышленности и карбонатно-магнезиальное сырье Дальнего Востока в технологии строительных материалов / Н.И. Ярмолинская, Т.Л. Лазарева, П.С. Красовский. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2009. – 167 с.

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СОГЛАСНО ДЕЙСТВУЮЩЕМУ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВУ РФ

Рафальская Татьяна Анатольевна

*канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и вентиляции
Новосибирского государственного
архитектурно-строительного университета (Сибстрин),
РФ, г. Новосибирск
E-mail: rafalskaya.ta@yandex.ru*

PROBLEMS OF POWER EFFICIENCY OF SYSTEMS OF THE HEAT SUPPLY ACCORDING TO THE CURRENT LEGISLATION OF THE RUSSIAN FEDERATION

Tatyana Rafalskaya

*candidate of Science, assistant professor of Heat and Gas Supply
and Ventilation department, of Novosibirsk State University
of Architectural and Civil Engineering (Sibstrin),
Russia, Novosibirsk*

АННОТАЦИЯ

Согласно действующему законодательству РФ необходимо увеличить температуру воды на нужды горячего водоснабжения с целью улучшения её микробиологических характеристик. Однако существует жёсткая взаимосвязь между работой систем горячего водоснабжения и отопления. Методом математического моделирования была решена задача определения температуры внутреннего воздуха и температуры обратной сетевой воды при различных температурах наружного воздуха. Расчёты показали, что увеличение температуры воды в системе горячего водоснабжения могут вызвать неблагоприятный тепловой режим в отапливаемых зданиях.

ABSTRACT

According to the current legislation of the Russian Federation it is necessary to increase temperature of water by needs of hot water supply with the purpose of improvement of its microbiological characteristics. However, there is a rigid interrelation between work of systems of hot water supply and heating. The method of mathematical modelling had been solved

a problem of definition of temperature of internal air and temperatures of return network water at various temperatures of external air. Calculations have shown, that increase the temperature of water in system of hot water supply can cause an adverse thermal mode in heated buildings.

Ключевые слова: система теплоснабжения, система отопления, система горячего водоснабжения, тепловые сети, температурный режим помещений.

Keywords: system of heat supply, system of heating, system of hot water supply, heat supply networks, temperature mode of premises.

Централизованная система горячего водоснабжения, имеющая широкое распространение в городах России и, в частности, в Новосибирске, разрабатывалась в соответствии с требованиями 70-х годов [4; 6]. Этими нормативными документами были установлены микробиологические характеристики и температура горячей воды.

Температуру горячей воды в местах водоразбора следовало предусматривать [6, п. 3.8]:

- а) не ниже 60°C – для систем централизованного горячего водоснабжения, присоединяемых к открытым системам теплоснабжения;
- б) не ниже 50°C – для систем централизованного горячего водоснабжения, присоединяемых к закрытым системам теплоснабжения;
- с) не ниже 60°C – для систем местного горячего водоснабжения;
- д) не выше 75°C – для систем, указанных в подпунктах “а”, “б” и “с”.

Температура горячей воды, подаваемой к смесителям умывальников и душей в зданиях учреждений социального обеспечения, общеобразовательных школ, детских дошкольных учреждений, детских домов и других детских учреждений и помещениях, а также в зданиях отдельных лечебно-профилактических учреждений, должна приниматься по заданию на проектирование и не превышать 37°C .

Несколько позже для проектирования систем горячего водоснабжения был разработан свод правил [8], отвечающий требованиям выше указанных документов. В частности, на нужды горячего водоснабжения применялся температурный график 60/40. То есть была определена температура горячего водоснабжения на вводе в дом 60°C .

В 2009 году были введены новые санитарно-эпидемиологические правила и нормы [5]. Это было связано с обнаружением в трубопроводах горячего водоснабжения высоко контагиозных инфекционных возбудителей вирусного и бактериального происхождения, которые могут размножаться при температуре ниже 60°C (в их числе – *Legionella Pneumophila* [1]). Было установлено, что температура горячей воды в местах водоразбора независимо от применяемой системы теплоснабжения должна быть не ниже 60°C и не выше 75°C [5, п. 2.4].

Для соответствия новым санитарным нормам и правилам были разработаны новые строительные нормы и правила [7], которые совместно с [5] регламентируют температуру горячего водоснабжения: температура горячей воды в местах водоразбора должна соответствовать требованиям [4] и [5].

Однако, не стоит забывать, что существует жёсткая взаимосвязь между работой систем отопления и горячего водоснабжения, ограниченная располагаемой тепловой мощностью системы теплоснабжения. Поэтому, увеличение температуры воды в системе горячего водоснабжения неизбежно вызовет изменения работы, связанной с ней системы отопления. Для решения поставленной задачи была разработана математическая модель в программе MathCad. Задача решалась методом последовательных приближений в матричной форме. Результаты расчётов для условий г. Новосибирска, представлены на рис. 1–4. На рис. 1 показаны режимы для одного из ЦТП, обслуживаемого ТЭЦ-5, где принят температурный график отпуска теплоты 150–70°C, со срезкой на 114°C. В ЦТП приходит вода из тепловой сети с температурой τ_1 , в систему отопления поступает вода с температурой τ_{03} за счёт смешения с водой из обратной магистрали системы отопления с температурой τ_{02} . Вода, с температурой τ_1 (рис. 1а) также поступает во II ступень подогревателя системы горячего водоснабжения (СГВ), на выходе из него, имеет температуру τ_{r2} ; τ_{c2} – температура смешанной воды после подогревателя СГВ II ступени и после системы отопления на входе в подогреватель СГВ I ступени; τ_2 – температура воды после подогревателя СГВ I ступени, возвращаемая в тепловую сеть.

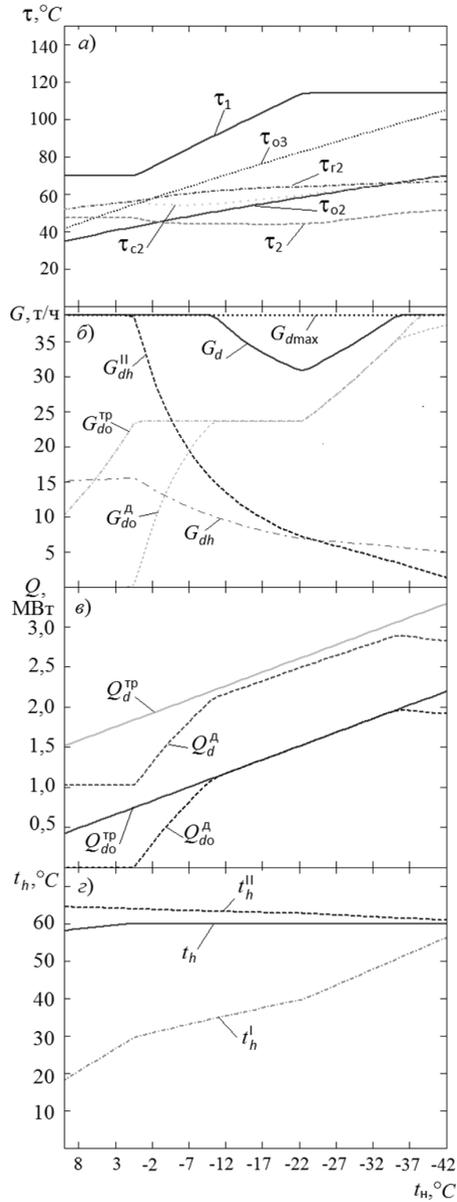


Рисунок 1. Режимы ЦТП при температурном графике 150–70 °С со срезкой на 114 °С

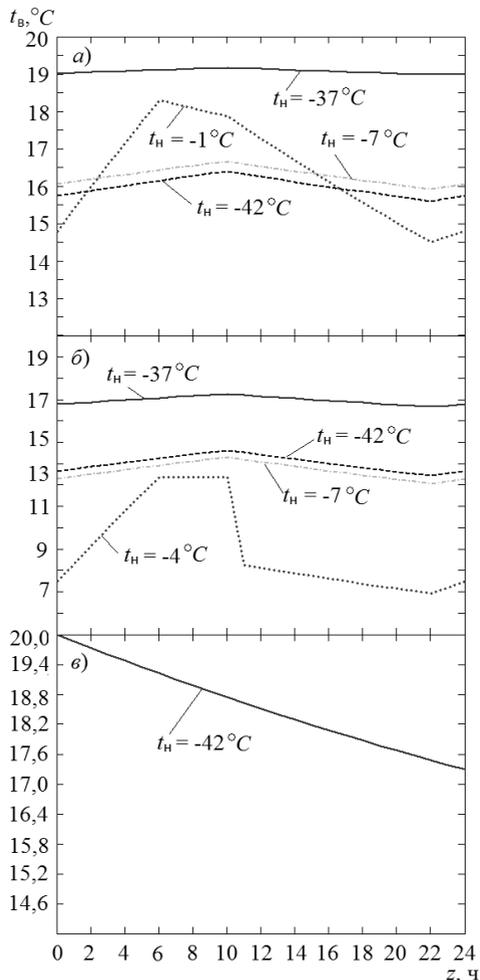


Рисунок 2. Температура внутреннего воздуха в зависимости от $t_{н}$ и водоразбора в СГВ

Расход сетевой воды G_d (рис. 1б) ограничен максимальным расходом воды из теплосети G_{dmax} . При этом согласно СП [8] приоритет имеет система горячего водоснабжения. Поэтому в подогреватели на нагрев водопроводной воды на нужды СГВ идёт расход сетевой воды G_{dh}^{II} , значительно превышающий средний (расчётный) расход сетевой воды на СГВ G_{dh} . Это, в свою очередь,

ведёт к тому, что действительное количество сетевой воды (с температурой τ_1), поступающей в систему отопления G_{do}^d меньше требуемого расхода воды из сети G_{do}^{TP} для обеспечения требуемой температуры внутреннего воздуха t_b^{TP} в отапливаемых жилых помещениях 20°C. Согласно СП [8] в случае максимального водоразбора система отопления недополучает требуемого количества теплоты из теплосети, но восстанавливает свою тепловую мощность при водоразборе ниже среднего и его отсутствии. Дефицит теплоты в системе отопления можно видеть на рис. 1а, где показано располагаемое количество теплоты, которое могут обеспечить тепловые сети Q_d^{TP} , действительное потребляемое количество теплоты Q_d^d , требуемое количество теплоты для системы отопления Q_{do}^{TP} и действительное, поступающее в систему отопления Q_{do}^d . Дефицит теплоты в системе отопления составляет $Q_{do}^{TP} - Q_{do}^d$. На рис. 1з показаны температура нагреваемой воды для СГВ после I ступени подогревателя СГВ t_h^I , нормативная температура горячей воды t_h , и температура воды после II ступени подогревателя СГВ t_h^{II} , до которой возможно нагреть воду при данных соотношениях тепловых нагрузок.

Как видно из рис. 1б, наибольший дефицит теплоты в системе отопления имеется при температурах наружного воздуха ниже расчётной для проектирования отопления $t_{но}$ (для Новосибирска -37°C), а также при наружных температурах выше точки излома температурного графика $t_{ин} = -1,21^\circ\text{C}$.

Посмотрим, действительно ли система отопления успевает восстановить свою тепловую мощность при незначительном водоразборе в СГВ или при его отсутствии. Действительную температуру внутреннего воздуха t_b при изменяющейся тепловой нагрузке за время z , ч, можно определить по формуле Е.Я. Соколова:

$$t_b^d = t_n + \left[\frac{Q_{do}^d}{Q_{do}^{TP}} + \left(\frac{t_b - t_n}{t_b^{TP} - t_{но}} \right) \cdot e^{-\frac{z}{\beta}} \right] \cdot (t_b^{TP} - t_{но}), \quad (1)$$

где: β , ч – коэффициент аккумуляции здания, характеризующий его тепловую инерцию; минимальное значение имеет для квартир торцевой секции верхних этажей. В расчётах принималось $\beta = 60$ ч;

t_b , °C – текущая температура внутреннего воздуха.

В этом уравнении неизвестна текущая температура внутреннего воздуха t_b , которая зависит как от наружной температуры t_n , так и от водоразбора в СГВ. Для решения уравнения был использован

типовой график водоразбора с СГВ, на основе которого к действительной тепловой мощности $Q_{до}^1$, определённой в расчёте математической модели добавлялась часть тепловой мощности, которую могут обеспечить тепловые сети при незначительном водоразборе или его отсутствии. Расчёты проводились для каждого часа, с учётом водоразбора, определялась t_b , которая подставлялась в уравнение для следующего часа. Методом последовательных приближений была определена t_{b24} за 24 ч, которая равна t_{b0} в 0 ч. То есть таким образом мы получили сходящуюся систему уравнений.

Расчёты (рис. 2а), были проведены для расчётной температуры наружного воздуха -37°C , температуры резкого похолодания до -42°C , температуры точки излома температурного графика -1°C , и температуры -7°C .

Расчёты показали, что система отопления не успевает восстановить свою тепловую мощность и температура внутреннего воздуха ниже требуемой $t_b^{TP} = 20^\circ\text{C}$. Однако при расчётной наружной температуре $t_{но} = -37^\circ\text{C}$, снижение $t_b \approx 19^\circ\text{C}$, что является допустимым, колебания t_b незначительны и практически не зависят от водоразбора. При резком похолодании $t_n = -42^\circ\text{C}$, снижение t_b более существенно. По данным [2], экстремальное снижение наружной температуры в Новосибирске обычно продолжается 2–3 суток. Неблагоприятный температурный режим наблюдается также при относительно высоких наружных температурах: $t_n = -7^\circ\text{C}$ и $t_n = -1^\circ\text{C}$.

Рассмотрим теперь вариант, при котором температура воды в СГВ будет увеличена на 5°C и составит на выходе из подогревателя II ступени СГВ 65°C . Чтобы обеспечить такую температуру горячей воды, необходимо также поднять нижнюю срезку температурного графика с 70°C до 75°C . Результаты расчётов системы теплоснабжения $114\text{--}75^\circ\text{C}$ представлены на рис. 3.

Видно, что при поднятии срезки, сдвинется также температура точки излома температурного графика, которая составит теперь $t_{ни} = -3,6^\circ\text{C}$, что увеличит область местного количественного регулирования системы теплоснабжения. Но, что ещё более существенно, значительно понизится температура внутреннего воздуха отапливаемых помещений, как при низких, так и при высоких наружных температурах, рис. 2б.

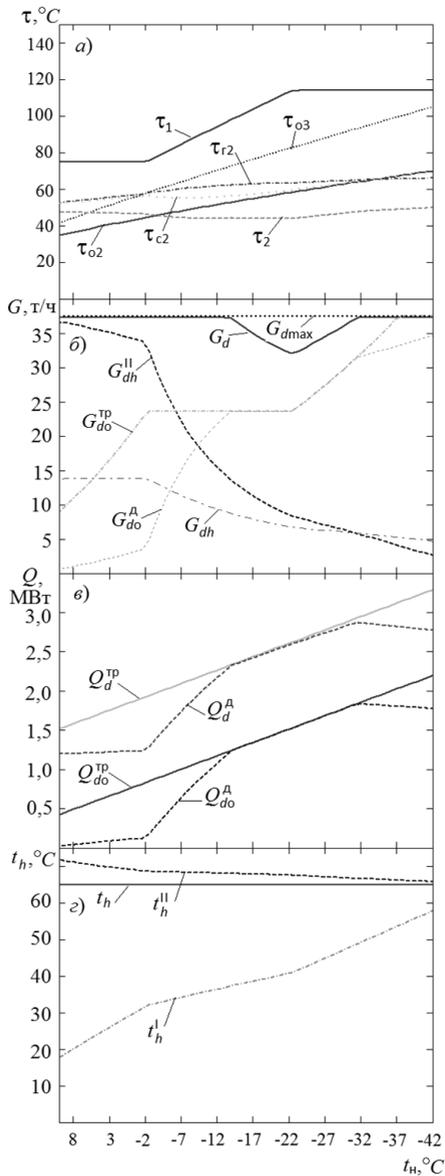


Рисунок 3. Режимы ЦТП при температурном графике 150–75 °С со срезкой на 114 °С

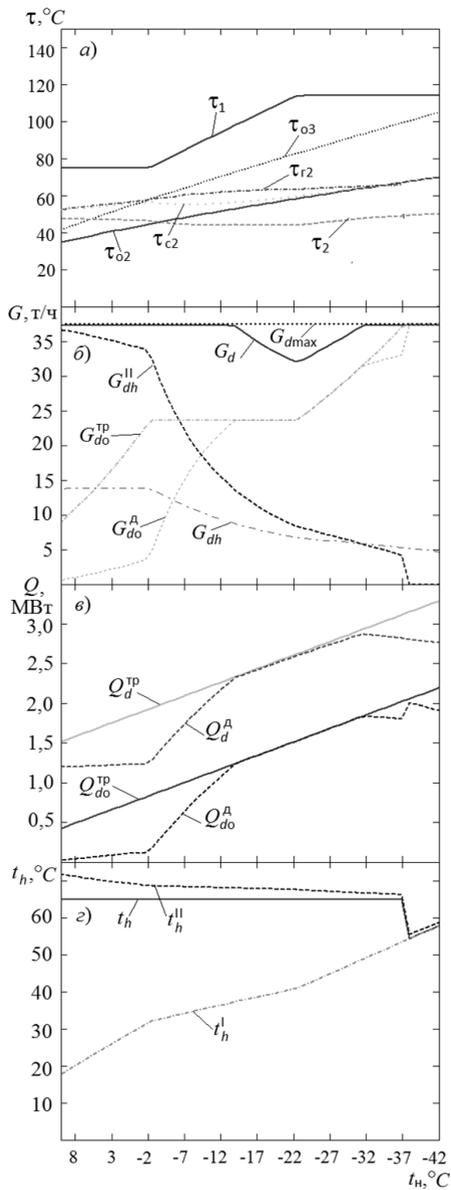


Рисунок 4. Режимы ЦТП с отключением подогревателя II ступени СГВ

В настоящее время в качестве критерия безопасности функционирующей системы теплоснабжения города принимается её способность обеспечить температуру воздуха внутри отапливаемых жилых помещений $t_{в}=18...22^{\circ}\text{C}$. Возможность стояния температуры $t_{в}$ ниже указанных значений в каких-либо ситуациях не предусмотрено государственными нормативными документами. Исследования механизма терморегуляции [3] показывают, что границей опасности для человека является температура $t_{в}$ на уровне 14°C , поскольку при такой температуре ещё обеспечивается равновесие между теплогенерацией человека и его теплообменом с окружающей средой. Понижение температуры воздуха до $10...12^{\circ}\text{C}$ становится крайне неблагоприятным для человека и является показателем критического теплового состояния здания, так как в этом случае создаются ещё и аварийные условия работы инженерного оборудования.

Часто при экстремальном похолодании и нехватке топлива на ТЭЦ применяют отключение II ступени подогревателя СГВ, чтобы весь расход сетевой воды направить в систему отопления и повысить, тем самым, её тепловую мощность. Результаты расчёта системы теплоснабжения при отключении подогревателя II ступени СГВ при наружной температуре ниже расчётной для отопления, показаны на рис. 4. Видно, что расход сетевой воды для системы отопления (рис. 4б) больше, чем при работающей II ступени подогревателя СГВ (рис. 3б), что позволило увеличить тепловую мощность системы отопления (рис. 4в). Однако, температура в СГВ понизилась и равна $t_{в}^I$ – температуре воды после подогревателя СГВ I ступени (рис. 4г).

Поскольку теперь водоразбор в СГВ не влияет на работу системы отопления, температуру внутреннего воздуха можно найти по формуле (1), однако нам не известна начальная температура $t_{в}$. Если принять её равной 20°C , то за сутки она понизится до $17,3^{\circ}\text{C}$ (рис. 2в), что, в принципе, является допустимым понижением. Но условия резкого похолодания могут продолжаться не одни сутки, к тому же начальная температура внутреннего воздуха может быть ниже требуемой $t_{в}^{\text{TP}} = 20^{\circ}\text{C}$.

Результаты расчётов позволяют сделать вывод, что принятие решения о повышении температуры воды в СГВ должно обязательно проверяться расчётом режимов совместной (связанной) работы систем отопления и СГВ, что позволит избежать критических ситуаций и аварий в системе теплоснабжения.

Выводы.

Основное внимание следует обратить не на увеличение температуры в СГВ, а на причины необеспечения качества горячего водоснабжения в существующих системах, к которым можно отнести:

1. Внутридомовые (отсутствие циркуляции горячего водоснабжения в домах, отсутствие тепловой изоляции на внутридомовых трубопроводах, разрегулировка системы горячего водоснабжения в домах).

2. Теплосетевые (отсутствие циркуляции от ЦТП, износ трубопроводов СГВ, несоответствие ранних проектных решений современным требованиям к качеству, износ оборудования ЦТП).

Устранение указанных недостатков позволит соответствовать современным нормативным документам без ухудшения качества теплоснабжения.

Список литературы:

1. Научно-методическое обоснование микробиологической безопасности снижения температуры горячей воды в системах водоснабжения закрытого типа // Отчёт о научно-исследовательской работе – Москва: ФГБУ ФНИЦЭМ, 2015. – 48 с.
2. Погода и климат в Новосибирске – [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru> (Дата обращения 10.02.2016).
3. Попырин Л.С. Природно-техногенные аварии в системах теплоснабжения / Л.С. Попырин // Вестник РАН, 2000. – т. 70. № 7. – С. 604–610.
4. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода и водоснабжение населённых мест. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: взамен СанПиН 2.1.4.559-96: введ. в действ. 2002-01-01. – Минздрав России, 2002. – 62 с.
5. СанПиН 2.1.4.2496-09 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: изм. к СанПиН 2.1.4.1074-01: введ. в действ. 2009-09-01 / Минздрав России, 2009. – 7 с.
6. СНиП П-34-76. Горячее водоснабжение: взамен СНиП П-Г.8-62: введ. В действ. 1977-01-01 – Москва: Стройиздат, 1976. – 30 с.
7. СП 30.13330.2012. Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85*: введ. в действ. 2011-12-29 / Минрегион России, 2011. – 65 с.
8. СП 41-101-95. Правила по проектированию и строительству тепловых пунктов: введ. в действ. 1996-07-01 / Минстрой России – Москва: ГУП ЦПП, 1997. – 78 с.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ШКОЛ

Шилов Александр Владимирович

канд. техн. наук, доц., директор института ИПГС Ростовского
государственного строительного университета,
РФ, г. Ростов-на-Дону
E-mail: georgy-2583@yandex.ru

Петренко Любовь Константиновна

канд. техн. наук, доц. кафедры организации строительства
Ростовского государственного строительного университета,
РФ, г. Ростов-на-Дону

Назаренко Ирина Александровна

студент Ростовского государственного строительного
университета,
РФ, г. Ростов-на-Дону

FEASIBILITY STUDY FOR CONSTRUCTION OF DIFFERENT TYPES OF SCHOOLS

Alexander Shilov

ph.D., Associate Professor, Director of the Institute IPGS
Rostov State University of Civil Engineering,
Russia, Rostov-on-Don

Lyubov Petrenko

ph.D., Associate Professor of the construction
of the Rostov State University of Civil Engineering,
Russia, Rostov-on-Don

Irina Nazarenko

a student of the Rostov State University of Civil Engineering,
Russia, Rostov-on-Don

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается суть актуальных проблем организации технико-экономических обоснований строительства различных видов школ. Выделяются проблемные аспекты, проводится их анализ, даются возможные пути решения. Работа затрагивает основополагающие научные проблемы, касающиеся принципов экономической эффективности различных вариантов проектирования общественных зданий. Представляется изучение различных типологических схем моделирования, позволяющих проводить перманентную оценку результатов работы той или иной системы, прогнозировать всевозможные варианты работ и оценивать с высокой степенью вероятности, как риски, так и предполагаемую выгоду от применяемого метода или стратегии в целом.

ABSTRACT

The article deals with the essence of actual problems of the organization of feasibility of construction of various types of schools. Highlighted the problematic aspects of their analysis is carried out, are possible solutions. The work involves basic scientific problems related to the principles of cost-effectiveness of different options for the design of public buildings. The study of the different typologies of modeling schemes that allow for the permanent evaluation of the results of this or that system, to predict all possible options and evaluate work with a high degree of probability as the risks and anticipated benefits of the method used or the strategy as a whole.

Ключевые слова: проектирование, менеджмент и управление, архитектура и градостроительство, организация строительства, организация и управление строительством.

Keywords: design, management and governance, architecture and urban planning, construction management, organization and management of construction.

Одним из приоритетных направлений в развитии и укреплении позиций нашего государства – Российской Федерации – является улучшение демографической ситуации. Интенсивно ведется популяризация рождаемости путем СМИ, осуществление материальной поддержки при рождении второго и последующих детей (программа «Материнский капитал»), поддержка многодетных семей. В 2013 году в связи с повышением рождаемости впервые за двадцать лет в России был зафиксирован естественный прирост населения в 24 тыс. человек. Маленькие жители в будущем образуют гражданское общество нашего

государства, и, безусловно, правительство заинтересовано в их образованности [1].

Уровень образования является одним из индикаторов, определяющих качественную сторону благосостояния населения. В современном индустриальном мире технический прогресс диктует человеку необходимость постоянно совершенствовать свои знания об окружающей действительности, чтобы наиболее успешно интегрироваться в условия рынка рабочей силы и достичь высокого уровня жизни.

Согласно документу «Публичная декларация целей и задач Министерства образования и науки Российской Федерации на 2014 год» одними из основных целей Минобрнауки РФ в 2014 году являются:

Обеспечение соответствия начального общего, основного общего и среднего общего образования способностям и жизненным планам учащихся и их семей, перспективным задачам развития России.

Доведение количества сельских школ, отвечающих санитарно-гигиеническим требованиям, до 80 % от общего количества сельских школ. Создание эффективной системы социализации детей и молодежи, выявления и развития молодых талантов. Доведение общей численности детей и молодежи 5–18 лет, охваченных дополнительными общеобразовательными программами, до 62 % от общей численности. Таким образом, качественное образование должно быть доступным для каждого ребенка, и именно о доступности школы необходимо подумать при составлении технико-экономического обоснования ее строительства [2].

ТЭО строительства – это основной проектный документ на строительство объекта, состоящий из трех частей.

В первой части рассматриваются категории и главные аспекты прединвестиционных исследований: различные фазы цикла инвестиционного проекта и их взаимосвязи, этапы прединвестиционной фазы, виды деятельности, которые должны осуществляться одновременно [3].

Вторая, основная часть состоит из отдельных глав, посвященных разработке ТЭО. Это исследование определяет концепцию маркетинга, которая принимается в проекте. Намечаются программы продаж и прогнозирование поступлений от продаж. Затем составляются, производственная программа, классификация и спецификация требований к потребляемым ресурсам, которая сравнивается с имеющимися поставками, планируется производственная мощность предприятия, выполняется анализ влияния на окружающую среду,

выбор месторасположения и участка, контрольные перечни и рабочие карты для классификации различных видов воздействия на окружающую среду. Задача проектной команды – разработка функциональной схемы и схемы размещения зданий и сооружений.

Третья часть содержит дополнительный вспомогательный материал, в том числе исследование конкретного случая и описание методов, используемых для оценки и прогноза данных [4].

Особое внимание в ТЭО уделяется вопросу организационной структуры, необходимости определения потребности в обучении персонала и оценки предстоящих затрат в фазах инвестирования и эксплуатации предприятия.

На основании утвержденного в установленном порядке ТЭО подготавливается тендерная документация и проводятся торги подряда, заключается договор (контракт) подряда, открывается финансирование строительства и разрабатывается рабочая документация [5].

Безусловно, когда речь идет о возведении объекта социального назначения, основным, а зачастую и единственным инвестором выступает государство. Соответственно, при определении затрат путями экономии выступают:

Выбор местных строительных материалов и отечественного оборудования.

Внедрение энергоэффективного оборудования и теплоизоляции.

Грамотное определение объема объекта, его соответствие количеству детей, проживающих в радиусе доступности. Объем объекта определяется согласно документу «Региональные нормативы градостроительного проектирования» или заданию на проектирование [6].

Проведем сравнительный анализ строительства образовательных учреждений в крупном городе и станице.

Рассмотрим ситуацию в городе Ростове-на-Дону, начав с Генерального плана (первая очередь – 2010 г, расчетный срок – 2025 г.). Согласно прогнозу возрастной структуры, норматив обеспеченности общеобразовательными школами составит:

- на первую очередь 87 мест на 1000 жителей;
- на расчетный срок 106 мест на 1000 жителей.

Значение расчетной потребности в школах (первая очередь) будет равным 91,4 тыс. мест. Обеспеченность школами будет превышать расчетную потребность. Однако несоответствие размещения образовательных учреждений сложившемуся и проектному расселению потребует строительства школ в районах новостроек.

На расчетный срок потребность составит 116,6 тыс. мест. После 2010 года значительно возрастет численность детей школьного возраста, так как в эту категорию начнет переходить более многочисленная возрастная группа, особо остро этот процесс будет отмечаться в период 2013–2018 годов. К концу расчетного срока дефицит школ составит порядка 23 тыс. мест, для чего потребуется строительство 15–20 школ.

Проанализируем ситуацию в новом Левенцовском районе города, в котором планируется расселить 90 тысяч человек. По заявлению мэрии, сделанном в 2013 г.: «В районе необходимо построить пять дошкольных образовательных учреждений, которые смогут принять 625 детей, один из них планируется совместить с начальной школой на 125 учеников. Также необходима школа на 1650 мест» [7].

В данный момент, по состоянию на 2014 год запланировано возведение школы на 1400 учащихся, сумма контракта, заключенного выигравшей торги компанией «Континент» с департаментом координации строительства Ростова составляет 816 миллионов рублей. Срок окончания работ – 2 года. Школа, скорее всего, будет возводиться по той же методике, что и 80 % школ района – технология современного высотного крупнопанельного домостроения, под которую компания «Интеко» (застройщик района) специально реконструировала ростовский комбинат крупнопанельного домостроения, что гораздо дешевле и быстрее кирпичного.

При составлении ТЭО строительства данной школы были решены вопросы доступности ее для местных жителей (прокладка дорожной сети) и обеспеченности их образовательными услугами. Радиус доступности учреждения определяется заданием на проектирование таким образом, чтобы минимизировать затраты на доставку детей школьными автобусами, а проблема недостатка мест должна быть решена путем строительства дополнительных школ, как это было оговорено мэрией города. Чтобы рассмотреть ситуацию в сельской местности, обратимся к примеру общеобразовательной школы, в поселке им. Максима Горького (Краснодарский край).

Здание возведено в 1977 году. Так как разработка ТЭО строительства введена с 2000 года, очевиден тот факт, что строительство проводилось без него. В настоящий момент количество учащихся – 345 человек. Школа обслуживает не только сам поселок, но и близлежащие населенные пункты. Доступность обеспечивается школьным автобусом. Проект планировки – типовой, что является главным отличием от современных тенденций возведения школ по индивидуальным проектам. Очевидным минусом являются

транспортные пути, которые, в большинстве своем, не асфальтированы, что затрудняет доставку детей в сложных погодных условиях, соответственно нет полной доступности.

Таким образом, подводя итог сравнительного анализа школ с наличием и отсутствием технико-экономического обоснования, можно быть уверенным в его положительном значении при строительстве, так как все возможные затраты проанализированы и выбран оптимальный вариант.

Список литературы:

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978, С. 20–25.
2. Гусаков А.А. Системотехника строительства. – М.: Стройиздат, 1993. – 368 с.
3. Костюченко В.В. Основы эффективного управления: Учебное пособие. – Ростов н/Д, РГСУ, 1993. – 72 с.
4. Костюченко В.В., Крюков К.М., Кудинов О.А. Менеджмент строительства: Учебное пособие. – Ростов н/Д, Феникс, 2003. – 448 с. 7.
5. Побегайлов О.А., Погорелов В.А. Модель интеграции строительного производства // Инженерный вестник Дона, 2013. – № 3. Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1777> (Дата обращения 17.01.2016).
6. Петренко Л.К. «Организация, планирование и управление реконструкцией зданий». Ростов – на – Дону, РГСУ, 2006 г.
7. Петренко Л.К., Погорелов В.А. Совершенствование организации и управления градостроительным комплексом // Научное обозрение, 2014. № 7. С. 727–730.

**«ВОПРОСЫ ВНЕДРЕНИЯ ПРИНЦИПОВ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ЖИЛЫЕ ЗДАНИЯ
НА ПРИМЕРЕ Г. ЛИПЕЦКА»**

Шкатова Мария Вячеславовна

ассистент кафедры архитектура

Липецкого государственного технического университета,

РФ, г. Липецк

E-mail: ya.shkatovamaria@yandex.ru

Скляднев Александр Иванович

д-р техн. наук, зав. кафедрой архитектуры, проф.

Липецкого государственного технического университета,

РФ, г. Липецк

E-mail: kaf-lgtu@mail.ru

**THE ISSUES OF INTRODUCTION PRINCIPLES
OF THE ENERGY-EFFICIENT RESIDENTIAL
CONSTRUCTION IN THE LIPETSK REGION**

Maria Shkatova

assistant department of architecture of the Lipetsk state technical university,

Russia, Lipetsk

Alexander Sklyadnev

ph.D., Head of the Department of Architecture,

Professor of Lipetsk State Technical University,

Russia, Lipetsk

АННОТАЦИЯ

В данной статье собрана информация о внедрении энергоэффективных технологий в строительстве многоэтажных жилых домов, на примере строительства в экономически благоприятном регионе Липецкой области. Авторами изучена ситуация в области строительства, выявлены основные технологии, широко применяемые в строительной индустрии. Критически оценён существующий опыт строительства и проектирования энергоэффективных зданий и найдены основные сдерживающие факторы, не позволяющие

в полной мере внедрять новые зелёные технологии в строительной отрасли, характерные для всех регионов России.

ABSTRACT

This article contains information on the introduction of energy efficient technologies in the construction of high-rise building, the example of the construction of an economically favorable Lipetsk region. The authors to explore the situation in the construction industry, identified the core technology, widely used in the construction industry. Critically score existing experience in the construction and design of energy efficient buildings. It found the main constraints that don't allow to fully implement new green technologies in the construction industry. The problem of introduction on principles of the energy-efficient residential construction, are common to all Russian regions.

Ключевые слова: энергоэффективные технологии; современное жилищное строительство; энергоэффективный дом; энергоэффективные мероприятия; «зелёные» здания.

Keywords: energy-efficient technology; modern house-building; energy-efficient buildings; energy-efficient arrangements; green homes.

Изменения в глобальном климате и ухудшение экологической ситуации на нашей планете повлияло на решение руководства всех стран мира задуматься о переходе на новые экологические чистые технологии. Для этого правительство в ноябре 2009 г. приняло общую «Энергетическую стратегию России на период до 2030 года». С этого же года в стране действует Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности». В декабре 2013 года утверждён разработанный Минобрнауки «Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года. Однако, несмотря на общую заинтересованность во внедрении «зелёных» технологий строительная отрасль и ЖКХ в целом оказались не готовы к внедрению и использованию новых технологий.

Среди всех регионов и областей России Липецкую область признают самой экономически стабильной, с благоприятной социальной обстановкой, развитой транспортной сетью и инженерной инфраструктурой. Руководство области, последовательно создаёт эффективную модель социального партнёрства с бизнесом, а также создаёт максимально благоприятные условия для подъёма инвестиционной активности и жизни граждан. Общая политика руководства области ориентирована на реализацию посланий и идей

президента Российской Федерации. Одним из пунктов реализации президентской программы является обеспечение доступным жильём граждан и внедрение энергоэффективности в жилищное строительство [6].

Опыт Липецка в проектировании и строительстве комплексной застройки жилых микрорайонов, признан лучшим на Всероссийском уровне. В мае 2014 года в городе Грязи Липецкой области, был сдан и заселён первый энергетически эффективный жилой дом класса «А». На сегодняшний день в нашем городе застраиваются огромные площади под жилые районы для среднего класса и эконом класса с учётом всех современных норм и требований [1].



Рисунок 1. Термограмма энергоэффективного дома в Липецкой области г. Грязи (в процессе постройки) февраль 2014 г.

Для Липецка был проведён анализ показателя застройки, представленный в таблице 1, за временной промежуток 2007–2015 года [2]. По данным Интерфакс Россия «Липецкая область входит в пятерку российских регионов-лидеров по строительству жилья в расчете на душу населения [4].

Таблица 1.

**Анализ показателей застройки в Липецке с 2007 по 2015 гг.
(в тыс. кв. м. общей площади)**

2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Объем работ, выполненных по виду деятельности «Строительство» по крупным и средним организациям, млн. руб.								
8145,2	12437,4	9095,0	9525,7	9178,1	7647,1	6773,8	17621,2	18103,5
Ввод в действие жилых домов общей площади, тыс. м ²								
343,6	385,1	356,1	394,6	388,8	414,1	423,0	1100,38	1130,5
в том числе индивидуальными застройщиками, тыс. м ²								
99,9	82,2	182,2	208,5	153,2	269,8	220,2	571,33	577,1

При строительстве нового жилья в нашем регионе, используются все базовые оболочковые принципы «зелёного» строительства. Самыми распространенными из них и реализованными в строительной практике можно отметить: архитектурные решения, в них учтена ориентация здания по сторонам света, использование компактной формы всего объема здания (рис. 2), применение общего остекления балконов и лоджий с использованием энергоэффективного остекления, произведены мероприятия по снижению потерь тепла через ограждающие конструкции наружных стен, подвалов и чердаков, снижены потери тепла через остекление, что достигается использованием энергоэффективных окон, также повсеместно введена в новом строительстве система поквартирного учёта потребления электроэнергии, тепла, горячего и холодного водоснабжения [5].



Рисунок 2. Решение общих объемов зданий, расположенных в микрорайоне Елецкий г. Липецка

Однако, несмотря на политику страны по внедрению энергоэффективных технологий в жилищное строительство, достаточно хорошие показатели и экономически благоприятный климат, для внедрения этих технологий в Липецкой области, общее внедрение не выходит за рамки требования нормативно-правовых документов и контроля разрешительных инстанций.

Критически оценивая достижений в строительстве и проектировании «зелёных» зданий Липецкой области, удалось выявить четыре сдерживающих фактора, которые влияют на слабое внедрение мероприятий, направленных на энергосбережение, законодательно не нормированные, однако, эффективные в области энергосбережения.

Первый фактор, инженерно-строительные особенности строительства и проектирования, Перечень энергоэффективных мероприятий

и причины, по которым они не нашли в нашем регионе активного применения приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Перечень энергоэффективных мероприятий и причины их не активного внедрения

Энергоэффективные мероприятия	Причины не активного внедрения энергоэффективных технологий
<ul style="list-style-type: none"> • термоизоляция и повышение герметичности оболочки здания на локальных участках (см. рис. 1) 	<ul style="list-style-type: none"> • отсутствие методик и технологий работ по утеплению этих участков, предоставленных компаниями, поставляющими продукции
<ul style="list-style-type: none"> • учёт термического сопротивления каждого элемента здания и уровня потребления энергии здания в целом 	<ul style="list-style-type: none"> • отсутствие контроля и наблюдение за жизнью здания после его постройки с последующим регулированием слабых мест проектировщиками, строителей и управляющих компаний.
<ul style="list-style-type: none"> • внедрение механической вентиляции с регенерацией тепла отработанного воздуха до 80 %. 	<ul style="list-style-type: none"> • отсутствие проектного опыта и опыта внедрения этой технологии
<ul style="list-style-type: none"> • отсутствие использования передачи тепла от бытовых стоков для предварительного нагрева 	<ul style="list-style-type: none"> • отсутствие проектного опыта и опыта внедрения этой технологии
<ul style="list-style-type: none"> • использование солнечного коллектора для нагрева воды 	<ul style="list-style-type: none"> • отсутствие проектного опыта и опыта внедрения этой технологии
<ul style="list-style-type: none"> • утилизации тепла грунта для подогрева воды с использованием теплового насоса на фундаментных сваях 	<ul style="list-style-type: none"> • отсутствие проектного опыта и опыта внедрения этой технологии
<ul style="list-style-type: none"> • использование солнечных батарей для покрытия части затрат энергии на места общего пользования и работы циркуляционных насосов 	<ul style="list-style-type: none"> • отсутствие проектного опыта и опыта внедрения этой технологии. В данный момент в области проходит мониторинг за работой этой системы в жилом доме, построенном с внедрением этой технологии в г. Грязи (выше о нем уже упоминалось)
<ul style="list-style-type: none"> • совершенствование и автоматизацию регулирования систем отопления, водоснабжения, вентиляции, энергоснабжения. 	<ul style="list-style-type: none"> • отсутствие стимула проводить этот перечень работ у компаний, обслуживающих здания, отсутствие информированности у собственников о возможности таких операций.

стоимость 1 м² составит 34 тыс. рублей м². 2 двух комнатной квартиры общей площадью 62,51 м² стоимостью 37,5 тыс. рублей м² и две однокомнатные квартиры общей площадью 41,9 м² стоимостью 38,3 тыс. рублей м². Общая стоимость этажа выйдет 13,525 тыс. рублей. Общая стоимость всех жилых этажей 216,400 тыс. рублей. При условии отделки и минимальной мебелировки квартир общая сумма вложений составит около 432,000 тыс. рублей. Сдача в аренду всех жилых площадей по средней цене принесёт в месяц принесёт собственнику 13,120 тыс. рублей. Срок окупаемости без накладных расходов и учёта налогообложения около 330 месяцев или около 28 лет. Таким образом, для инвестирования в Липецке, в одном из благоприятнейших регионов страны, строительство многоэтажных энергоэффективных зданий слишком дальне срочная инвестиция. Наиболее перспективно, в ближайшее время, продвижение передовых энергоэффективных технологий на рынке индивидуального домостроения. На рынке частного домостроения существенно снижается влияние сдерживающих факторов, и заказчик может повлиять на содержание и качество проектных работ, энергоэффективные технологии, которые будут использоваться и помогут снизить эксплуатационные затраты, а также контролировать процесс строительства, и вносить корректировки в случае необходимости.

При строительстве многоэтажных энергоэффективных зданий и внедрении новейших достижений в области энергосбережения с созданием комфортных условий для труда и отдыха необходимо решение комплексных мер (перечисленных выше задач) с участием административных органов, проектировщиков, экономистов, технологов и хозяйственных руководителей.

Список литературы:

1. В городе Грязи построен первый в области энергоэффективный дом / Первый Грязинский Портал. 06.05.2014. – [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.гязи.рф/34-v-gorode-gryazi-postroen-pervyyu-v-oblasti-energoeffektivnyu-dom.html> (Дата обращения 24.01.2016).
2. Инвестиции и строительство// официальный сайт администрации г. Липецка: 2015. – [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: http://lipetskcity.ru/gorod/pasport_goroda/investicii_i_stroitelstvo (Дата обращения 24.01.2016).
3. Интервью – Михаил Мень, министр строительства и ЖКХ. // Информационный портал о ЖКХ приморья. 12.03.2014. – [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: http://gkhprim.ru/news/interview/intervyu_-_mikhail_men-_ministr_/ (Дата обращения 24.01.2016).

4. Липецкая область в 2015 г. увеличила ввод жилья на 5 % до 1,1 млн. кв. метров. // Интерфакс Россия. – [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.interfax-russia.ru/Center/main.asp?id=691558> (Дата обращения: 18.01.2016).
5. Опарина Л.А. Теоретические основы процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий: дис. докт. тех. наук (05.02.22) / Опарина Людмила Анатольевна. – Иваново, 2015. – 300 с.
6. Хомутский Р.В. Липецкий феномен (фото+инфографика) // ЛГ: итоги недели. // Экономика. 22.12.2014. – [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.lpgzt.ru/article/43744.htm> (Дата обращения 24.01.2016).

СЕКЦИЯ

«ТРАНСПОРТ И СВЯЗЬ, КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И МЕТОДИКА ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ СЕДЕЛЬНОГО АВТОПОЕЗДА В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Шатманов Орозбек Токтогулович

*д-р техн. наук, проф., директор института транспорта
и коммуникаций Кыргызского Государственного университета
строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова,
Кыргызская Республика, г. Бишкек*

Омуров Жыргалбек Макешович

*доц. Кыргызского Государственного технического университета
им. И. Раззакова,
Кыргызская Республика, г. Бишкек
E-mail: omurov66@mail.ru*

Давлятов Улукбек Рыскулович

*д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Автомобильный
транспорт» Кыргызского Государственного технического
университета им. И. Раззакова, Кыргызская Республика, г. Бишкек
E-mail: uluk-2000@mail.ru*

MATHEMATICAL MODEL AND TECHNIQUE OF NUMERICAL CALCULATION OF PROCESS OF THE MOVEMENT OF THE SADDLE ROAD TRAIN IN MOUNTAIN SERVICE CONDITIONS

Orozbek Shatmanov

*doctor of technical sciences, professor, Director of the Institute of transport
and communications Kyrgyz State University of construction,
transport and architecture named after N. Isanov,
Kyrgyzstan, Bishkek*

Orozbek Omurov

*associate professor
at Kyrgyz State technical University named after I. Razzakov,
Kyrgyzstan, Bishkek*

Ulukbek Davlyatov

*doctor of technical sciences, professor, head of Department “Automobile
transport” of the Kyrgyz State technical University named after I. Razzakov,
Kyrgyzstan, Bishkek*

АННОТАЦИЯ

Целью исследования является разработка методики расчета, позволяющей выбирать рациональный скоростной режим движения грузовых автомобилей с жидким грузом для конкретных дорожных условий.

Исходя из этого в статье рассмотрены основные характеристики автомобильной дороги Бишкек-Ош, обоснована актуальность разработки методики расчета, которая позволит выбирать рациональный скоростной режим движения грузовых автомобилей с жидким грузом, приведены математическая модель процесса движения седельного автопоезда, которая решается методами обратных задач динамики колесных машин, позволяющие определить параметры процесса движения с учётом смещения центра тяжести груза. Получена система из 28 дифференциальных уравнений. Эти уравнения совместно с начальными и граничными условиями представляют собой математическую модель процесса движения седельного автопоезда.

Для решения математической модели была разработана программа численного расчета с помощью программы MatLab Simulink и реализована на ПЭВМ. Рассчитанные числовые значения

силы реакции на каждом колесе автопоезда позволят определить параметры устойчивого движения седельного автопоезда в горных условиях.

ABSTRACT

The aim of the study is to develop methodologies allowing to choose rational speed limit truck movements of liquid cargo for a specific road conditions. On this basis the article describes the main characteristics of the road Bishkek-Osh, the urgency of development of methods of calculation, which allows to choose a rational speed limit for freight vehicles with liquid cargo, the mathematical model of the process of movement of the saddle road train, which is solved by the methods of inverse problems of dynamics of wheeled vehicles, which allows to determine the parameters of the process of motion taking into account the mixing of the centre of gravity of the cargo. The resulting system of 28 differential equations. These equations together with initial and boundary conditions constitute the mathematical model of the process of the movement of the saddle road train. To solve mathematical model has been developed program of numerical calculation by using MatLab Simulink and implemented on the PC. The calculated numerical values of the reaction force on each wheel of the trailer will determine the parameters of a steady movement of the saddle road train in the mountains.

Ключевые слова: математическая модель, седельный автопоезд, скоростной режим, колесные машины, транспортный поток, автомобильная дорога, условия эксплуатации, режим движения.

Keywords: mathematical model, saddle road train, high-speed mode, wheel cars, transport stream, highway, service conditions, movement mode.

В Кыргызской Республике 65 % территории составляют горы, по которым осуществляются перевозки грузов. В частности, международная автомобильная дорога «Бишкек-Ош» является важной автомагистралью, соединяющей столицу республики с областями и соседними республиками – Узбекистаном, Таджикистаном и Казахстаном. На этой дороге интенсивность транспортного потока высока и в этих сложных высокогорных условиях перевозятся большие объемы грузов.

Так как, горные условия для эксплуатации грузовых автомобилей (автопоездов) являются крайне тяжелыми, очень важно знать их режим движения при избытии крутых подъемов, спусков, поворотов и серпантинов [1, с. 152]. Особенно этот вопрос важен при перевозке жидких грузов (например, нефтепродуктов).

Всплескивание жидкого груза во время перевозок серьезно изменяет мгновенный центр тяжести автопоезда и тем самым, влияет на критическую скорость передвижения. Поэтому безопасность процесса перевозки во многом определяется правильным выбором скоростного режима автопоезда.

Протяженность автомобильной дороги Бишкек-Ош составляет 674 км, из них 348 км горные участки, а 246 км равнинной местности. Перевал «Тоо-Ашуу» находится на высоте 3500 м над уровнем моря. Наиболее сложным является участок дороги со 103–140-й километры, который проходит через перевал «Тоо-Ашуу». Данный участок осложнен тем, что 12 км перед вершиной перевала крутой подъем, связанный с преодолением 56 опасных серпантинов с малыми радиусами кривых в плане. Ширина проезжей части на этом участке дороги равна 8 м, а ширина обочины с каждой стороны по 2 м. Наименьший радиус кривых в плане 40 м, а наибольший продольный уклон составляет 83 промилле или 8,3 %.

На основании обобщения опыта эксплуатации и обзора теоретических исследований выдвинута гипотеза о возможности повышения эффективности перевозки жидких грузов за счет определения показателей безопасного и эффективного режима движения.

При анализе факторов, влияющих на режим движения, рассматривались факторы по эксплуатационным свойствам, внешние факторы и факторы по экономическим показателям.

Криволинейное движение автопоезда в горных условиях является преобладающим, так как движение даже на строго прямолинейных участках дорог сопровождается подъемами и поворотами управляемых колес для коррекции направления движения и объезда возникающих на пути препятствий. Более 50 % своего пробега автопоезд движется по дугам окружности радиуса от 40 м до 500 м. Характер криволинейного движения автопоезда зависит от его режима.

Достижение необходимых скоростей движения автопоездов определяется безопасными и эффективными параметрами режима движения за счёт максимального использования сцепных сил. Не учёт данных параметров при расчёте режима движения может привести к ситуации, когда автопоезд в экстремальных условиях может потерять устойчивость движения [2, с. 33].

Увеличение числа осей в пределах заданной базы приводит к снижению критической скорости. Уменьшает критическую скорость также увеличение массы и радиуса инерции автопоезда в горизонтальной плоскости. Также на устойчивость автопоезда большое влияние оказывают удельные величины реакций, действующие на колеса

в плоскости движения, а, следовательно, и их составляющие – продольная и боковая реакции.

Исходя из этого, нами разработана методика по обоснованию режима движения автопоезда с максимальной скоростью движения, при котором обеспечивается устойчивое и безопасное движение.

Методика основывается на математической модели седельного автопоезда, которая решается методами обратных задач динамики колесных машин, позволяющих определить параметры процесса движения с учётом смещения центра тяжести груза. Седельный автопоезд рассматривается как сложная динамическая система, состоящая из двух подсистем, тягача и прицепа (рис. 1).

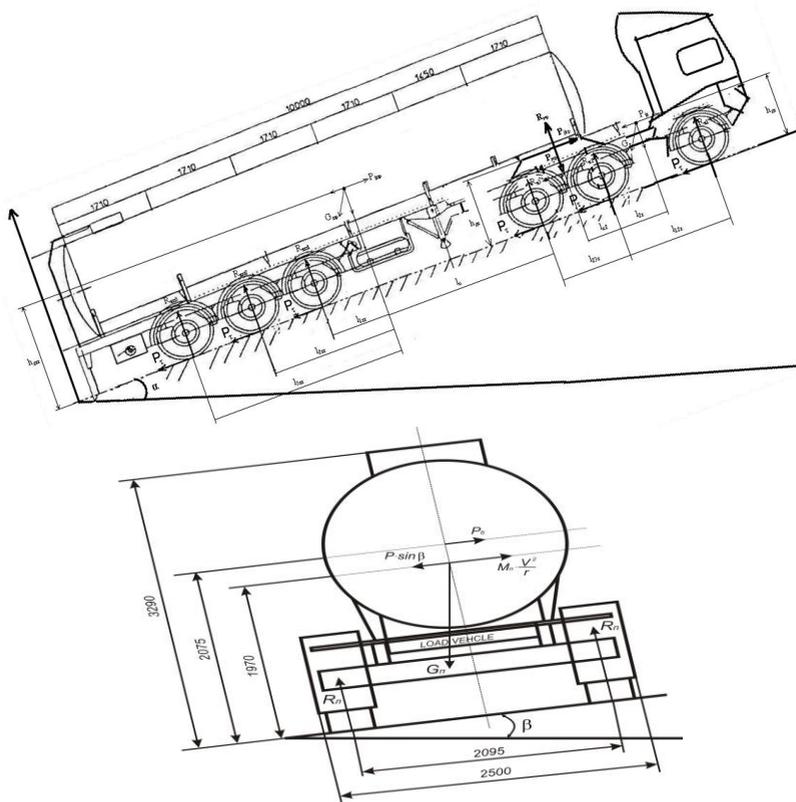


Рисунок 1. Схема сил, действующих на автопоезд, состоящий из тягача MAN TG SWW и полуприцепа – цистерны ФРЮЕХАУФ-ТФ34Т13РВА

Используя проекции сил на оси координат и моментов сил относительно осей, нами получена система уравнений для полуприцепа и тягача. В результате решения определяются три силы реакции колес при предположении, что силы реакции левых и правых колес осей неодинаковы, сила реакции сцепного устройства и сила инерции.

Для полуприцепа

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum Z = 0; R_x + R_z - mg \cos \alpha = 0; \\ \sum X = 0; P_{j\infty} - mg \sin \alpha - m \frac{dv}{dt} = 0; \\ P_{j\infty} - m \frac{dv}{dt} - mg \sin \alpha - P_x = 0; \sum C(\cdot) = 0; \\ R_x l_2 - R_x l_1 - P_{j\infty} (h_2 - h_c) - F_z h_2 = 0; \\ R_x = \frac{m}{L} \left(gl_2 \cos \alpha - \left(\frac{dv}{dt} + g \sin \alpha \right) (h_2 - h_c) \right); \\ R_z = \frac{m}{L} \left(gl_1 \cos \alpha + \left(\frac{dv}{dt} + g \sin \alpha \right) (h_2 - h_c) \right); \\ R_x = \frac{mg \cos \alpha (l_2 - h_2 f_{z1}) - \left(m \frac{dv}{dt} + mg \sin \alpha \right) (h_2 - h_c)}{L - h_2 f_{z1}}; \\ R_z = \frac{m}{L - h_2 f_{z1}} \left(g \cos \alpha \cdot l_1 + \left(\frac{dv}{dt} + g \sin \alpha \right) (h_2 - h_c) \right); \\ N_z + (R_z + R_x) \cdot f_{z2} + mg \sin \beta - \frac{m g^2}{r} - P_z = 0; \quad (1) \\ R_x + R_z - mg \cos \beta = 0; \\ R_x \cdot \frac{B}{2} - R_z \cdot \frac{B}{2} + (R_x + R_z) \cdot f_{z2} \cdot h_2 + N_z (h_2 - h_c) - P_z \cdot h_2 = 0; \\ R_x = \frac{1}{2B} \left(mg \cos \beta \cdot (B - 2f_{z2} h_2) + 2 \left(mg \sin \beta - \frac{m g^2}{r} \right) (h_2 - h_c) \right); \\ R_z = \frac{1}{2B} \left(mg \cos \beta \cdot (B + 2f_{z2} h_2) - 2 \left(mg \sin \beta - \frac{m g^2}{r} \right) (h_2 - h_c) \right); \\ R_x = R_{x1} + R_{x2} + R_{x3}; R_{x1} = R_{x2} = R_{x3}; \\ R_z = R_{z1} + R_{z2} + R_{z3}; R_{z1} = R_{z2} = R_{z3}; \end{array} \right.$$

1)

Для тягача

$$\left\{ \begin{array}{l} F_1 + F_2 - P_{jk} - mg \sin \alpha = m \frac{dv}{dt}; \\ R_1 + R_2 - R_x - mg \cos \alpha = 0; \\ -R_1 a + R_2 b - P_{jk}(h_2 - h) - R_x l_0 - (F_1 + F_2) h = 0; \\ R_2 = \frac{mg \cos \alpha \cdot a + mg \sin \alpha \cdot h + m \frac{dv}{dt} h + P_{jk} h_2 + R_x (a + l_0)}{a + b}; \\ R_1 = \frac{mg \cos \alpha \cdot b - mg \sin \alpha \cdot h - m \frac{dv}{dt} h - P_{jk} h_2 + R_x (b - l_0)}{a + b}; \\ m_T g \frac{B}{2} \cos \beta + m_T g \sin \beta \cdot h_2 - \frac{m_T g^2}{2} h_2 + N_k h_2 - R_x \frac{B}{2} = 0 \\ \frac{m_T g^2}{r} + N_k - m_T g \sin \beta - \sum R \cdot \varphi_2 = 0 \\ R_1 = R_{12} + R_{13}; R_{12} = R_{13}; \\ R_2 = R_{22} + R_{23}; R_{22} = R_{23}; \end{array} \right.$$

2)

где: R_n , R_n – силы реакции колес; R_k – сила реакции сцепного устройства; N_k – боковая сила реакции сцепного устройства; P_{jkr} – продольная сила инерции, действующая на сцепное устройство; m_n – полная масса полуприцепа и m_T – полная масса тягача; ℓ – расстояние между силами и осями; h – высота центра тяжести; v – скорость автопоезда; α – угол подъема; r – радиус поворота; β – угол поперечного уклона дороги; a_1 – расстояние от центра массы тягача до переднего моста; a_2 – расстояние от центра массы тягача до заднего моста; l_0 – расстояние от центра массы тягача до сцепного устройства; h – высота центра тяжести тягача; B – колея тягача; g – ускорение свободного падения, $g=9.8 \text{ м/с}^2$; L – расстояние от заднего колеса полуприцепа до сцепного устройства; h_g – высота центра тяжести полуприцепа; h_c – высота сцепного устройства; l_2 – расстояние от заднего колеса полуприцепа до центра тяжести полуприцепа; l_1 – расстояние от центра тяжести полуприцепа до сцепного устройства; α – продольный угол дороги, $\alpha = 0.05$ рад; B – колея полуприцепа; f_{i1} – продольный коэффициент сцепления; f_{n1} – поперечный коэффициент сцепления; dv/dt – линейное ускорение автопоезда; P_B –

поперечное динамическое воздействие жидкого груза на стенки цистерны; R_n – продольное динамическое воздействие жидкого груза на стенки цистерны.

Используя проекции сил на оси координат и моментов сил относительно осей, нами получена система из 28 дифференциальных уравнений. Эти уравнения совместно с начальными и граничными условиями представляют собой математическую модель процесса движения седельного автопоезда.

Для решения математической модели была разработана программа численного расчета с помощью программы MatLab Simulink и реализована на ПЭВМ. Рассчитанные числовые значения силы реакции на каждом колесе автопоезда позволят определить параметры устойчивого движения седельного автопоезда в горных условиях.

На рисунках (рис. 2–5) представлены примеры результатов решения уравнении разработанной математической модели.

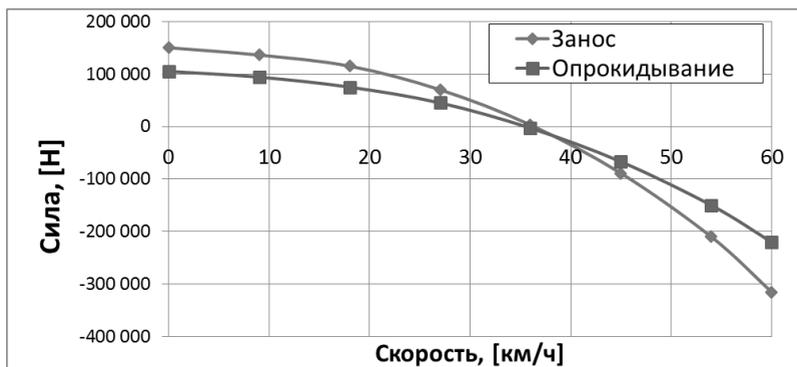


Рисунок 2. Суммарное воздействие способствующих и препятствующих сил опрокидыванию и заносу от скорости движения седельного автопоезда при радиусе поворота $R=40$ м, продольном уклоне 3 % и учете динамического воздействия жидкого груза

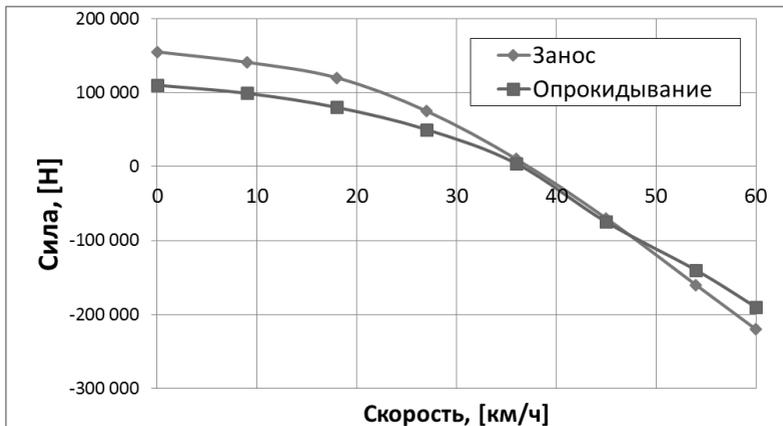


Рисунок 3. Суммарное воздействие способствующих и препятствующих сил опрокидыванию и заносу от скорости движения седельного автопоезда при радиусе поворота $R=40$ м, продольном уклоне 3 %, без учета динамического воздействия жидкого груза

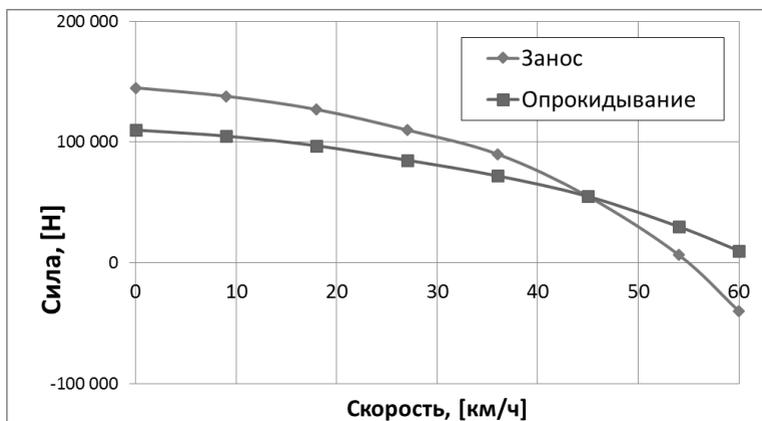


Рисунок 4. Соотношение способствующих и препятствующих сил опрокидыванию и заносу от скорости движения седельного автопоезда при радиусе поворота $R=200$ м, продольном уклоне 8 %, с учетом динамического воздействия жидкого груза

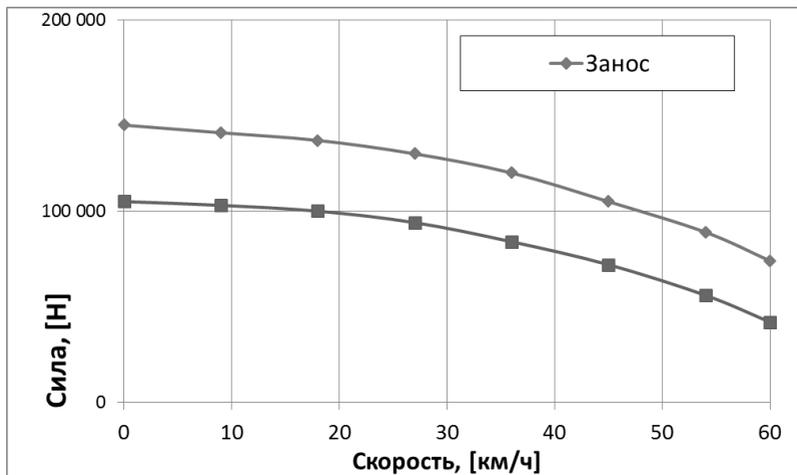


Рисунок 5. Соотношение способствующих и препятствующих сил опрокидыванию и заносу от скорости движения седельного автопоезда при радиусе поворота $R=200$ м, продольном уклоне 8 %, без учета динамического воздействия жидкого груза

Представленные графики показывают характер изменения суммарных сил, способствующих и препятствующих опрокидыванию, а также суммарных сил, способствующих и препятствующих заносу. По этим графикам можно определить критическую скорость (в точке пересечения с осью ординат при значении ноль), при которой начинается неустойчивое движение седельного автопоезда.

Список литературы:

1. Бабков В.Ф. «Дорожные условия и безопасность движения». – М.: Т. 1993. – 271 с.
2. Фаробин Я.Е. Теория движения специализированного подвижного состава / Я.Е. Фаробин, В.А. Овчаров, В.А. Кравцова. – Воронеж: ВГУ, 1981. – 160 с.

СЕКЦИЯ

«ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СКВАЖИН С ПРИМЕНЕНИЕМ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Козырев Илья Николаевич

*аспирант 1 года, кафедра геологии и разработки нефтяных
месторождений, Томский политехнический университет,*

РФ, г. Томск

E-mail: kin5000@mail2000.ru

EFFICIENCY MEASURES TO IMPROVE WELL OPERATION USING ELECTRICAL SUBMERSIBLE PUMP UNIT

Ilya Kozyrev

*first year Postgraduate student Faculty of Geology and Exploration
of oil and gas fields National Research Tomsk Polytechnic University,*

Russia, Tomsk

АННОТАЦИЯ

Цель статьи заключается в рассмотрении методов повышения эффективности эксплуатации скважин с применением установок электроцентробежных насосов. В ходе написания статьи были рассмотрены и проанализированы три возможных метода повышения эксплуатации установок: применение защитного дополнительного оборудования, применение технологии колтюбинга при освоении скважин после гидроразрыва пласта, а также применение гибкой шарнирной муфты в составе установок электроцентробежных насосов.

ABSTRACT

This article is focused on researching measures to improve the efficiency of well operation using electrical submersible pump units. During the research, there have been viewed and analyzed three possible ways of

well operation enhancement such as additional protective equipment application, coiled tubing technology application during well completion after reservoir hydraulic fracturing and application of flexible ball joint as a part of submersible pump unit.

Ключевые слова: нефть; установка электроцентробежного насоса; скважина.

Keywords: oil; electrical submersible pump units; well.

Максимально возможное извлечение нефти из нефтяных залежей требует применения прогрессивных способов и схем разработки нефтяных месторождений, а также совершенствования техники и технологии подъема жидкости из скважин. Широкое распространение имеют установки электроцентробежных насосов (УЭЦН), которыми оборудована значительная часть фонда добывающих скважин. Такое положение обусловлено их преимуществами (высокая производительность), реализуемыми в условиях увеличения обводненности нефтяных месторождений и необходимости форсированного отбора жидкости из скважин. При больших подачах по затратам энергии на тонну добываемой нефти электроцентробежные насосы более выгодны, чем штанговые.

Но поскольку ни один из видов механической добычи не может сравниться по объемам перекачиваемой жидкости с УЭЦН, эксплуатация нефтяных скважин с применением установок электроцентробежных насосов является актуальной.

Высокая агрессивность пластовой жидкости, являющейся многокомпонентной средой и состоящей из нефти, пластовой воды, свободного и растворенного газа – одна из основных причин отказов оборудования скважин, эксплуатируемых данным способом [1].

Повышение наработки электропогружного оборудования путем применения защитного дополнительного оборудования включаемого в состав УЭЦН.

Для обеспечения охлаждения электродвигателей в скважинах с большим внутренним диаметром обсадных колонн применяется кожух.

Конструкция кожуха обеспечивает надежное крепление и исключает забор жидкости сверху, для чего на входном модуле предусмотрен уплотнительный пояс.

Данный модуль может быть смонтирован с газосепараторами, диспергаторами, а так же без них. Единственное требование для

монтажа с газосепараторами диспергаторами – допуск на присоединение входного модуля и совпадения по крепежным узлам [1].

Применение технологии колтюбинга при освоении скважин после гидроразрыва пласта.

Для борьбы с выбросами пропанта после проведенного гидроразрыва пласта, наиболее эффективно применение технологии колтюбинга. Опыт применения колтюбинга доказал, что качественная промывка забоя и освоение скважины азотом позволяют сэкономить на эксплуатации УЭЦН, так как существенно снижается риск выхода насоса из строя по причине выноса механических примесей.

При использовании колтюбинга, во-первых, гибкую трубу можно спускать в скважину очень быстро (до 50 м/мин.), а во-вторых, по ней можно закачивать азот, образуя очень легкий столб флюида. В процессе очистки происходит поступление притока в скважину, что позволяет очистить ствол до безупречного состояния.

Также использование колтюбинга позволяет достичь быстрой окупаемости затрат, и экономию на расходах по дальнейшей эксплуатации скважины. Быстрая окупаемость связана сразу с несколькими факторами:

- Сокращение времени освоения скважины.
- Снижение потерь нефти за счет экономии времени на освоение скважины.
- Увеличение времени работы скважины после запуска. Снижение негативного воздействия на пласт во время проведения обработки.
- Увеличение выручки от реализации нефти [4].

Применение гибкой шарнирной муфты в составе установок электроцентробежных насосов.

Известно [3], что при работе УЭЦН на участках с большим набором кривизны из-за боковых усилий возникают нерасчетные напряжения корпусов и валов, которые ведут к одностороннему износу деталей и сокращения межремонтного периода (МРП).

Максимально-допустимая кривизна скважины при спуске установки определенного поперечного габарита определяется допустимой упругой деформацией материалов, из которых изготовлена установка.

Величина максимально-допустимой кривизны скважины по нормативным документам российских и иностранных изготовителей равна 2° на 10 метров длины. По тем же нормативным документам место подвески установки должно выбираться в скважине там, где установка не подвергается прогибу или как минимум вписывается в участок скважины.

Применение гибкой шарнирной муфты (ГШМ) в составе УЭЦН позволяет:

- достичь потенциала скважины;
- предотвратить ослабление затяжки из-за асимметрии натяжений болтов межсекционных фланцевых соединений УЭЦН за счет снятия изгибающих нагрузок, действующих на установку при прохождении интервалов с интенсивным искривлением ствола во время спуска оборудования в скважину [2].

При эксплуатации УЭЦН в зоне с набором кривизны выше допустимой, где штатная установка работает в напряженно-деформируемом состоянии, УЭЦН, оснащенный гибкой муфтой, свободно вписывается в ствол искривленной скважины, чем обеспечивается повышенная устойчивость его работы.

В том случае, если участок ствола скважины, в котором расчетами предполагается подвеска насосного оборудования, имеет высокие значения локальной кривизны и установку вынужденно подвешивают в других интервалах, гибкая муфта позволяет производить подвеску УЭЦН именно в заданном интервале, что приводит к более оптимальному режиму ее работы.

Максимальный угол изгиба ГШМ составляет 5 или 10° в зависимости от варианта исполнения [3].

Заключение.

Корректный выбор насосного оборудования и оптимизация режима его работы, позволяет повысить эффективность использования добывающих скважин. Применение расчетных методик позволяет оценивать состояние насосного оборудования, подбирать рациональные технологические параметры работы оборудования.

Максимальный эффект повышения энергоэффективности возможно получить, улучшив характеристики установок электроцентробежных насосов посредством сбалансированного подбора каждого элемента оборудования установки (насос, погружной электродвигатель и др.) и оптимизации работы оборудования после запуска.

В целом внедрение в производство предлагаемых методов позволит увеличить межремонтный период работы скважин, оборудованных для механизированной добычи полезных ископаемых УЭЦН и тем самым увеличить суточную добычу полезных ископаемых [1].

Список литературы:

1. Агеев Ш.Р., Григорян Е.Е., Макиенко Г.П. Российские установки лопастных насосов для добычи нефти и их применение. Пермь: Пресс-Мастер, 2007. – 645 с.

2. Поляков В.С., Барбаш И.Д., Ряховский О.А. Справочник по муфтам. – Л.: Машиностроение, 1979. – 344 с.
3. Пат. 2230233 Россия МПК F04D29/62, F04D13/10, Гибкая шарнирная муфта Гепштейн Ф.С., Дьячук И.А., Шаякберов В.Ф. Заявлено. 11.09.2002; Оpubл. 10.06.2004.
4. Шаякберов В.Ф., Янтурин Р.А. О расширении возможностей УЭЦН // Нефтепромысловое дело. – 2009. – № 3. – С. 27–28.

СЕКЦИЯ

«ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ»

ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭЭС ПРИ СЛОЖНЫХ ВИДАХ ЗАМЫКАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФАЗНЫХ КООРДИНАТ

Осак Алексей Борисович

*научный сотрудник, Институт систем энергетики
им. Л.А. Мелентьева (ИСЭМ) СО РАН,
РФ, г. Иркутск
E-mail: osakalexey@mail.ru*

PRACTICAL METHOD OF CALCULATION OF SHORT CIRCUIT IN THE POWER SYSTEM UNDER DIFFICULT TYPES OF FAULT WITH PHASE COORDINATES

Alexey Osak

*researcher, Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch
of the Russian Academy of Science (ESI SB RAS),
Russia, Irkutsk*

АННОТАЦИЯ

Для выполнения расчетов токов короткого замыкания (ТКЗ) при сложных видах повреждений и несимметрии элементов сети целесообразно использовать метод фазных координат. В статье представлена методика расчета ТКЗ в фазных координатах в матричном виде и даны рекомендации по определению параметров схемы замещения для практических задач. Данная методика с 1998 года используется в лабораторных и научно исследовательских работах в Иркутском государственном техническом университете [2; 3], которая здесь уточнена в части задания трансфор-

маторных ветвей в первой матрице инцидентий. В ИСЭМ СО РАН [11] данная методика была дополнена учетом предшествующего аварии режима. Появление современных математических программных пакетов позволяет широко использовать данную методику для расчета ТКЗ в фазных координатах без использования специализированного программного обеспечения.

ABSTRACT

To perform the calculation of short circuit current in complex forms of fault, and the asymmetry of grid elements it is expedient to use the method of phase coordinates. The method of calculating the short-circuit current in phase coordinates in the matrix form. The recommendations for the definition of equivalent circuit parameters for practical works. This method is used since 1998 in laboratory and scientific research works in the Irkutsk State Technical University [2; 3], which has been added of the calculation of transformer branch in a first incidence matrix. In the ESI SB RAS [11], this method has been added taking into account the previous regime of the accident. The advent of modern mathematical software packages allows extensive use of this method to calculate the short-circuit current in phase coordinates without the use of specialized software.

Ключевые слова: токи короткого замыкания; фазные координаты; ЭЭС.

Keywords: current of short circuit; phase coordinates; power systems.

Задача расчета токов короткого замыкания (ТКЗ) является одной из типовых задач расчета режимов электроэнергетических систем (ЭЭС), которая необходима как для проектирования, так и для эксплуатации. Задача расчета ТКЗ применяется для выбора характеристик первичного и вторичного оборудования, расчета уставок устройств релейной защиты и автоматики (РЗА), проверки селективности РЗА, разбора и анализа фактических коротких замыканий (КЗ) и определения места повреждения (ОМП).

Для решения задачи расчета ТКЗ широко применяются промышленные программные комплексы отечественной и зарубежной разработки, такие как: АРМ СРЗА (г. Новосибирск), блок RastrKZ в составе RastrWin (г. Екатеринбург), EnergyCS ТКЗ (г. Москва), блок ТКЗ в составе ПВК АНАРЭС (г. Иркутск) [11].

В тоже время имеется ряд случаев, когда расчет ТКЗ на промышленных программных комплексах приводит к большим трудностям. К таким случаям можно отнести [9, с. 110; 12, с. 29]: сложные виды повреждений (многократные КЗ, КЗ между провод-

никами разных классов напряжения, сочетания КЗ и обрывов проводов и др.) или несимметрию нескольких элементов ЭЭС (неучет которой для конкретной практической задачи является неприемлемым). В этих случаях расчет ТКЗ проще всего выполнять с использованием фазных координат (ФК).

Метод ФК [9, с. 182] – это метод представления схемы замещения ЭЭС в пофазной постановке, а не в виде параметров схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательности как это осуществляется в широко применяемом методе симметричных составляющих (СС). При этом в ФК количество рассматриваемых фаз и схемы пофазного соединения всех элементов сети соответствуют фактическим схемам электроустановок (1 или 3 фазы, наличие или отсутствие нулевого провода и заземления нейтрали, наличие грозотроссов и их заземление). Продольные и поперечные сопротивления каждого элемента сети, а также взаимоиנדукция между фазами и между элементами задается для каждой фазы отдельно [12, с. 248]. Вышеуказанные свойства ФК как раз и позволяют легко решать задачи расчета ТКЗ при сложных видах повреждений и несимметрии элементов сети.

Метод расчета режимов ЭЭС в ФК напрямую вытекает из расчета электрических цепей по законам Ома и Кирхгофа. Поэтому метод ФК известен уже более века. Но по сравнению с методом расчета в СС (при общепринятом допущении о симметричности элементов электрической сети матрицы сопротивлений в СС диагональные) метод ФК существенно более требователен к вычислительным ресурсам, потому что матрицы сопротивлений электрической сети в ФК не являются диагональными. Поэтому до появления высокопроизводительной вычислительной техники метод ФК не имел широкого применения для расчета режимов ЭЭС, в т. ч. для расчета ТКЗ.

С середины 1990-х годов уровень развития персональных компьютеров достиг уровня (по быстродействию и объему оперативной памяти), при котором применение метода ФК стало целесообразным. Имеется большое число публикаций на тему применения ФК для расчета различных режимов ЭЭС [1–9; 11–12], в т. ч. для расчета ТКЗ [9; 11–12].

В настоящее время широкое распространение получили универсальные математические программные комплексы (программные пакеты), позволяющие решать математические задачи различной сложности, в том числе задачи расчета режимов ЭЭС. Например:

- коммерческие: MATLAB, Mathcad, Mathematica;
- свободные: Scilab, GNU Octave, FreeMat.

Появление вышеуказанных универсальных математических программных комплексов позволяет качественно повысить доступность метода ФК для практических расчетов.

В настоящей статье представлена математическая постановка задачи расчета ТКЗ в ФК, которая может быть реализована в любом из универсальных математических пакетов или на языке программирования высокого уровня.

В ряде работ для выполнения расчетов режимов в ФК предлагаются достаточно сложные и индивидуальные алгоритмы формирования матрицы узловых потенциалов для разных элементов сети [12, с. 248; 9, с. 183; 7, с. 28]. Такой подход справедлив и работоспособен, но существенно усложняет алгоритм формирования схемы большой размерности. Используя современные математические пакеты или современные математические библиотеки для работы с матрицами и комплексными числами можно многие практические расчеты ТКЗ выполнять без каких-либо специальных и сложных алгоритмов, если не требуется учет индивидуальных особенностей отдельных элементов сети. Ниже излагается такая методика расчета ТКЗ в ФК в матричном виде.

Схема замещения для расчета ТКЗ в ФК.

Для расчета режима в ФК составляется схема замещения ЭЭС в пофазной (в 3-х фазной) постановке в виде графа сети (узлов и ветвей), топология которого может быть описана в матричном виде первой матрицей инцидентий M [10, с. 37].

M представляет собой матрицу, каждая строка которой соответствует одному из узлов, а каждый столбец одной из ветвей. В ячейках матрицы записывается «0» – если ветвь не связана с узлом, «+1» – если узел является началом обычной ветви, «-1» – если узел является концом ветви. Для трансформаторных ветвей вместо «±1» со стороны узла низкого напряжения нужно записывать K_{mp} (где $K_{mp} = U_B / U_H$), знак «+» или «-» указывается как и для обычных ветвей. Каждый столбец матрицы может содержать только одно положительное число («+1» или «+ K_{mp} ») и одно отрицательное («-1» или «- K_{mp} »).

В расчетах в ФК базисным узлом предпочтительно считать узел «земля», потенциал которого равен нулю, соответственно напряжение узла будет равно фазному напряжению узла относительно земли. Строку матрицы M , соответствующую базисному узлу нужно исключить (чтобы размерность матрицы соответствовала числу

независимых узлов), а при необходимости эту строку всегда можно восстановить.

Первую матрицу инцидентий M можно представить в виде блочной матрицы $M = \|M_\alpha M_\beta\|$, где M_α – первая матрица инцидентий для дерева графа сети (квадратная матрица). M_β – первая матрица инцидентий для хорд.

Если требуется выполнять расчеты методом контурных токов, то необходимо составить вторую матрицу инцидентий N . Строки матрицы соответствуют независимым контурам, а столбцы ветвям. В ячейках матрицы записывается «0», если ветвь не входит в контур, «+1», если обход контура совпадает с направлением тока ветви, «-1», если не совпадает. Вторую матрицу инцидентий N [10, с. 43] также можно представить в виде блочной матрицы $N = \|N_\alpha N_\beta\|$, где N_α – соответствует ветвям дерева графа сети, а N_β – соответствует ветвям-хордам (квадратная матрица). Если выбирать независимые контуры таким образом, чтобы каждая хорда входила только в один контур, и направление тока в хорде совпадало с направлением обхода контура, то можно получить матрицу N_β – единичной, тогда матрицу N_α можно получить алгебраически $N_\alpha = -M_\beta^t \cdot (M_\alpha^t)^{-1}$.

Для расчета схемы в матричной форме необходимо вначале составить матрицы параметров схемы замещения: \underline{Z}_B , \dot{E}_B , \dot{J} . Матрица ЭДС ветвей \dot{E}_B является матрицей вектор-столбцом, содержащей в каждой ячейке значение ЭДС в комплексном виде соответствующей ветви, причем знак перед ЭДС ставится в соответствии со следующим правилом. Если направление ЭДС совпадает с направлением тока, то ставится знак «+», иначе «-» (принятое направление тока из начала в конец ветви). Матрица задающих токов узлов \dot{J} является матрицей вектор-столбцом, элементами которой являются задающие токи в комплексном виде соответствующих узлов, причем знак «+» ставится перед током, если он входит в узел, «-» – если выходит из узла. Матрица сопротивлений ветвей \underline{Z}_B является квадратной матрицей. В главной диагонали \underline{Z}_B находятся значения собственных сопротивлений ветвей в комплексном виде со знаком «+». В недиагональных элементах находятся значения взаимных сопротивлений между ветвями. Причем знак «+» ставится при согласном включении, «-» при встречном. Можно использовать и другие варианты направления векторных величин, главное, чтобы была единая система направлений для всей схемы, с учетом знаков

в системе уравнений. В нижеизложенной методике используется следующие матричные уравнения.

Первый закон Кирхгофа [10, с. 58]:

$$M \cdot \dot{I}_B = \dot{J}$$

Второй закон Кирхгофа:

$$N \cdot \underline{Z}_B \cdot \dot{I}_B = N \cdot \dot{E}_B$$

Закон Ома:

$$\dot{U}_B = \underline{Z}_B \cdot \dot{I}_B - \dot{E}_B$$

Расчет методом узловых потенциалов.

Матрица узловых проводимостей:

$$\underline{Y}_V = M \cdot \underline{Y}_B \cdot M^t = M \cdot \underline{Z}_B^{-1} \cdot M^t$$

Уравнение узловых напряжений [10, с. 76]:

$$\begin{aligned} \underline{Y}_V \cdot \dot{U}_\Delta &= \dot{J} - M \cdot \underline{Y}_B \cdot \dot{E}_B \\ \dot{U}_\Delta &= \underline{Y}_V^{-1} \cdot (\dot{J} - M \cdot \underline{Y}_B \cdot \dot{E}_B) \end{aligned}$$

Выражение токов ветвей через узловые напряжения:

$$\dot{I}_B = \underline{Y}_B \cdot (M^t \cdot \dot{U}_\Delta + \dot{E}_B)$$

Падение напряжения в ветвях схемы находится по выражению:

$$\dot{U}_B = M^t \dot{U}_\Delta$$

Потери мощности в только одной i -ой ветви находятся по выражению:

$$\dot{S}_{Zi} = I_{Bi}^* \cdot \dot{U}_{Bi}$$

Поток мощности в i -ой ветви со стороны j -ого узла (начало или конец ветви) определяется по выражению:

$$\dot{S}_i = I_{Bi} \cdot \dot{U}_{\Delta j}^*$$

где: $\dot{U}_{\Delta j}$ — напряжение j -ого узла относительно базисного.

Расчет методом контурных токов.

Матрица контурных ЭДС:

$$E_K = N \cdot E_B$$

Матрица контурных сопротивлений:

$$Z_K = N \cdot Z_B \cdot N^t$$

Уравнение контурных токов [10, с.74]:

$$Z_K \cdot I_K = E_K - N \cdot Z_B \cdot \left\| \begin{array}{c} M_{\alpha}^{-1} \\ 0 \end{array} \right\| \cdot J$$
$$I_K = Z_K^{-1} \cdot \left(E_K - N \cdot Z_B \cdot \left\| \begin{array}{c} M_{\alpha}^{-1} \\ 0 \end{array} \right\| \cdot J \right)$$

Выражение токов ветвей через контурные токи:

$$I_B = N^t \cdot I_K + \left\| \begin{array}{c} M_{\alpha}^{-1} \\ 0 \end{array} \right\| \cdot J$$

Падения напряжения в ветвях, входящих в дерево схемы находится по выражению:

$$U_{\alpha} = Z_{\alpha\alpha} \cdot I_{\alpha} - E_{\alpha}$$

Напряжения в узлах схемы относительно базисного определяется по выражению:

$$U_{\Delta} = (M_{\alpha}^t)^{-1} \cdot U_{\alpha}$$

Практические рекомендации по расчету ТКЗ.

Расчет ТКЗ в ФК можно выполнять как методом узловых потенциалов, так и методом контурных токов. Если схема замещения содержит ветви с нулевым сопротивлением (например, соответствующие выключателю), то при расчете методом узловых потенциалов матрицы проводимостей ветвей по выражению $\underline{Y}_b = \underline{Z}_b^{-1}$ произойдет деление на ноль. Поэтому у такой ветви необходимо нулевое сопротивление заменять некоторой малой величиной, что может несколько снижать точность расчета. В методе контурных токов такая проблема отсутствует, если только не весь контур содержит ветви с нулевым сопротивлением. Если схема замещения содержит ветви с очень большим сопротивлением (соответствующие отключенной ветви или обрыву, когда считается режим нескольких несвязанных подсистем), то в методе контурных токов возможно снижение точности за счет погрешности математических операций, тогда лучше покажет себя метод узловых потенциалов.

Составление матриц с параметрами схемы замещения для практических расчетов ТКЗ.

При наличии готовой расчетной схемы для расчета ТКЗ в любом из промышленных программных комплексов можно для решения практических задач получить параметры схемы замещения в ФК следующим образом. Вначале поэлементно выполняем преобразования матрицы с параметрами схемы замещения одного элемента сети в СС в матрицу с параметрами схемы замещения этого же элемента сети в ФК по следующим выражениям (обращая внимание на порядок расположения в матрицах параметров соответствующих последовательностей и фаз):

$$\begin{aligned} \dot{E}_{ABC} &= \underline{S} \dot{E}_{012} \\ \dot{J}_{ABC} &= \underline{S} \dot{J}_{012} \\ \underline{Z}_{ABC} &= \underline{S} \cdot \underline{Z}_{012} \cdot \underline{S}^{-1} \end{aligned}$$

где: $\underline{S} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$, $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$, $a^2 = e^{j\frac{-2\pi}{3}}$ — операторы поворота вектора.

Если имеются данные о взаимоиנדукции нулевой последовательности между двумя или несколькими ЛЭП, то формируется матрица \underline{Z}_{012} не для одной ЛЭП (размерностью 3x3), а сразу для нескольких ЛЭП (размерностью 6x6, 9x9 и т. д.), в соответствующих недиагональных элементах указывается сопротивление взаимоиנדукции нулевой последовательности между соответствующими ЛЭП.

Далее формируется матрица параметров схемы замещения: \underline{Z}_B , \dot{E}_B , \dot{J} , как блочные матрицы отдельных элементов сети.

После выполнения расчета в ФК можно параметры режима в ФК конкретного элемента преобразовать в параметры режима с СС:

$$\begin{aligned}\dot{U}_{012} &= \underline{S}^{-1} \dot{U}_{ABC} \\ \dot{I}_{012} &= \underline{S}^{-1} \dot{I}_{ABC}\end{aligned}$$

Определение параметров схемы замещения генераторов для учета предшествующего режима при расчете ТКЗ.

При разборе аварий, анализе фактических коротких замыкания (КЗ), при проверке селективности РЗА, решении задачи определения места повреждения (ОМП) для повышения точности расчета ТКЗ требуется учет предшествующего аварии установившегося режима. Это позволяет уточнить модули и фазы ЭДС для генераторов. Если предшествующий режим был тяжелым, т. е. перетоки по отдельным электропередам приближались к допустимым пределам по устойчивости, то влияние учета фаз ЭДС может существенно повлиять на результаты расчета ТКЗ.

Особенностью математического моделирования вращающихся электрических машин (в нашем случае синхронных генераторов) является то, что общепринятая система координат “d, q” повернута относительно общесхемной системы координат на угол δ , который является углом поворота ЭДС генератора и определяется предшествующим режимом.

Для неявнополюсных машин (турбогенераторов) все особенности учета предшествующего режима ограничиваются только определением параметров ЭДС генератора (прямой последовательности) по выражению:

$$\dot{E}_{cr(1)} = \dot{E}_Q = \dot{U}_{np} \cdot \left(1 + \frac{(R_{CM} + jX_q) \cdot (P_{gen} - jQ_{gen})}{U_{np}^2} \right)$$

Активным сопротивлением генератора можно пренебречь, либо определить его через постоянную времени обмотки статора (справочный параметр):

$$R_{cr} = \frac{X_d''}{\omega_0 \cdot T_a}$$

Соответственно комплексное сопротивление прямой последовательности генератора для расчета ТКЗ:

$$\underline{Z}_{CR(1)} = R_{CR} + jX_d''$$

Для обратной последовательности:

$$\underline{Z}_{CR(2)} = jX_d''$$

Обмотка статора синхронных генераторов обычно включается в звезду, причем нулевая точка в малых машинах изолирована, а в крупных машинах с целью выполнения релейной защиты от замыканий на землю заземляется через большое сопротивление. Поэтому токи нулевой последовательности либо отсутствуют, либо весьма невелики. Соответственно если в справочных данных отсутствуют параметры нулевой последовательности, то для перевода сопротивлений генератора в ФК можно сопротивление нулевой последовательности приближенно принять равным сопротивлению обратной последовательности.

Для явнополюсных машин (гидрогенераторов) при учете предшествующего режима необходимо учесть неравенство сверхпереходных сопротивлений по осям “d” и “q”.

Активное сопротивление гидрогенератора определяется через постоянную времени обмотки статора (справочный параметр):

$$R_{CR} = \frac{2 \cdot X_d'' \cdot X_q''}{\omega_0 \cdot (X_d'' + X_q'') \cdot T_a}$$

Сопротивление гидрогенератора прямой последовательности в комплексном виде представить невозможно (из-за неравенства сверхпереходных сопротивлений по осям “d” и “q”), поэтому его нужно представлять в виде матрицы 2x2. Матрица сверхпереходных сопротивлений генератора в собственных осях генератора:

$$\underline{Z}''_{CR(1)} = \begin{bmatrix} R_{CR} & -X_q'' \\ X_d'' & R_{CR} \end{bmatrix}$$

Матрица сверхпереходных сопротивлений генератора в общесхемной системе координат:

$$Z_{cr(1)} = C \cdot Z''_{cr(1)} \cdot C^{-1},$$

где: C – матрица преобразования из системы “d, q” координат генератора в общесхемную систему координат:

$$C = \begin{bmatrix} \cos \delta & -\sin \delta \\ \sin \delta & \cos \delta \end{bmatrix}$$
$$C^{-1} = \begin{bmatrix} \cos \delta & \sin \delta \\ -\sin \delta & \cos \delta \end{bmatrix},$$

где: $\sin \delta$ и $\cos \delta$ определяется следующим образом:

$$\sin \delta = -\frac{E_{Q(\text{Re})}}{E_Q}$$
$$\cos \delta = \frac{E_{Q(\text{Im})}}{E_Q},$$

где: $\dot{E}_Q = E_{Q(\text{Re})} + jE_{Q(\text{Im})}$

Соответственно в матричном виде ЭДС прямой последовательности для гидрогенератора:

$$\dot{E}_{cr(1)} = \begin{bmatrix} E_{Q(\text{Re})} \\ E_{Q(\text{Im})} \end{bmatrix}$$

Для обратной последовательности:

$$\underline{Z}_{cr(2)} = j\sqrt{X_d'' \cdot X_q''}$$
$$Z_{cr(2)} = \begin{bmatrix} 0 & -\sqrt{X_d'' \cdot X_q''} \\ \sqrt{X_d'' \cdot X_q''} & 0 \end{bmatrix}$$

Список литературы:

1. Берман А.П. Расчет несимметричных режимов электрических систем с использованием фазных координат // Электричество. – 1985. – № 12. – С. 102–105.
2. Висящев А.Н., Осак А.Б. Расчет режимов электроэнергетических систем в фазных координатах // Конференция молодых специалистов электроэнергетики – 2000. Сборник докладов. – М.: НЦ ЭНАС, 2000. – С. 155–156.
3. Висящев А.Н., Домышев А.В., Осак А.Б., Пехотина И.Б. Расчет режимов тяговых сетей в фазных координатах // Повышение эффективности работы железнодорожного транспорта Сибири. Тезисы докладов научнотехнической конференции. – Иркутск: ИрИИТ, 2000. – С. 79; 81.
4. Гусейнов А.М. Расчет в фазных координатах несимметричных установившихся режимов в сложных системах // Электричество. – 1989. – № 8. – С. 1–7.
5. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Поклад Д.А. Программный комплекс расчета режимов систем тягового электроснабжения переменного тока в фазовых координатах // Повышение эффективности работы железнодорожного транспорта Сибири. – Иркутск: ИрИИТ, 2000. – С. 75–77.
6. Закарюкин В.П. Алгоритм расчета схемы замещения трехфазного трансформатора в фазовых координатах // Новые технологии управления и методы анализа электрических систем и систем тягового электроснабжения. – Иркутск. 2000. Вып. 1. – С. 31–38.
7. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Сложнонесимметричные режимы электрических систем. – Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 2005. – 273 с.
8. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Методы совместного моделирования систем тягового и внешнего электроснабжения железных дорог переменного тока / под ред. А.В. Крюкова. – Иркутск: ИрГУПС, 2010. – 160 с.
9. Лосев С.Б., Чернин А.Б. Вычисление электрических величин в несимметричных режимах электрических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 528 с.
10. Мельников Н.А. Матричный метод анализа электрических цепей – изд. 2-е, переработ. и доп. – М.: Энергия, 1972. – 231 с.
11. Осак А.Б. Блок расчета токов короткого замыкания и установившихся несимметричных режимов для ПВК АНАРЭС-2000 // Системные исследования в энергетике: Труды молодых ученых ИСЭМ СО РАН, Вып. 32. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2002. – С. 283–288.
12. Чернин А.Б., Лосев С.Б. Основы вычислений электрических величин для релейной защиты при сложных повреждениях в электрических системах. – М.: Энергия, 1971. – 434 с.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Научное издание

**«ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ -
ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ»**

Сборник статей по материалам
LV международной научно-практической конференции

№ 2 (50)
Февраль 2016 г.

Подписано в печать 02.03.16. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 12,125. Тираж 550 экз.

Издательство АНС «СибАК»
630049, г. Новосибирск, Красный проспект, 165, офис 4.
E-mail: mail@sibac.info

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного
оригинал-макета в типографии «Allprint»
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3