

## МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

### **Ф. Н. Притыкин, В. И. Небритов**

Построение рабочей зоны механизма руки андроидного робота с учетом положения запретных зон

Исследованы форма и положение проекции рабочей зоны механизма руки андроидного робота при различном положении заранее известных препятствий внешней среды. Предложен способ аналитического задания проекций контуров рабочей зоны на основе использования методов аналитической геометрии и теории множеств. Проведенные исследования могут быть использованы при разработке интеллектуальных систем управления андроидными роботами, автономно функционирующими в сложно организованном окружающем пространстве.

**Ключевые слова:** рабочая зона манипулятора, внешняя среда робота, механизм манипулятора, интеллектуальные системы управления роботами.

### **В. А. Коновалов, С. И. Белов**

Исследование устойчивости трубных заготовок с относительно толстой стенкой, обжимаемых матрицами с углом конуса  $50^\circ$

Проведены экспериментальные исследования по установлению влияния характеристик инструмента и размеров заготовок на устойчивость цилиндрического не обжимаемого участка, обжатых в конических матрицах толстостенных заготовок. Полученные количественные оценки представлены графиками, позволяющими предсказать бездефектное осуществление деформирования при проектировании технологических процессов изготовления штампованных полых изделий с переменным профилем продольного контура.

**Ключевые слова:** обжим, коническая матрица, толстостенная труба, устойчивость.

### **Ю. П. Макушев, Л. Ю. Волкова**

Диагностирование форсунок тепловозных дизелей по объему сливаемого топлива из дренажной магистрали

Предложена методика, позволяющая по величине утечек топлива из форсунок гидромеханическим управлением определять зазор между иглой и корпусом распылителя. Для топливной аппаратуры с электрогидравлическим управлением иглы форсунок выполнен расчет топлива, сливаемого через клапан, определены утечки топлива в зависимости от давления в аккумуляторе, величины зазора в распылителе и в паре «управляющий поршень – направляющая». Приведен контроль технического состояния клапанов управления по величине объема сливаемого топлива из штуцера форсунки.

**Ключевые слова:** форсунка, диагностирование, утечки, зазор, клапан управления.

**Ю. П. Макушев, Л. Ю. Волкова**

Расчетные исследования форсунок дизелей с пьезоэлектрическим управлением

Рассмотрено устройство и принцип действия форсунок с пьезоэлектрическим управлением хода иглы распылителя. Дан пример расчета пьезопривода форсунки, изменение длины которого зависит от напряженности электрического поля, геометрических размеров, коэффициента упругости материала и силы, развиваемой пьезоэлементом. Построен график зависимости толщины пьезоэлемента от величины подводимого напряжения. Даны рекомендации по контролю основных параметров пьезопривода в процессе диагностирования.

**Ключевые слова:** форсунка, управление, пьезопривод, диагностирование, клапан, игла распылителя, впрыск топлива.

**А. В. Шашок, Т. Б. Брылова, А. В. Кутышкин**

Оценка температуры резания при высокоскоростном точении конструкционных сталей

В статье приводятся результаты теоретической оценки распределения температур при высокоскоростном точении конструкционных сталей. На основе методики описания теплофизических процессов при резании, разработанной Воронцовым А. Л., Султан-Заде Н. М., Албагачиевым А. Ю., Савкиным А. И., были получены в явном виде выражения для определения температуры резания, оценки распределения тепловых потоков между образующейся при резании стружкой и передней режущей поверхностью инструмента, а также между его задней поверхностью и контактирующей с ней материалом обрабатываемой заготовки. Для оценки изменения физико-механических свойств материала обрабатываемой заготовки использовалась модель Джонсона–Кука. Расчетные значения температуры резания сопоставлялись с опубликованными в открытой печати данными экспериментов, которые были получены при высокоскоростном точении среднеуглеродистых сталей.

**Ключевые слова:** высокоскоростная механическая обработка сталей, ортогональное точение, модель Джонсона–Кука, температура резания, распределение тепловых потоков при резании.

**А. Г. Кисель, Е. Д. Пуртов, А. В. Дейлова, Н. Н. Кочура**

Оценка охлаждающих свойств смазочно-охлаждающих жидкостей

В статье ставится задача дать оценку охлаждающим действиям ряда смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Сегодня повышение качества изделий и длительности функционирования режущего инструмента, совершенствование технологии обработки металлов резанием относятся к первостепенным задачам производства. При применении СОЖ в процессе некоторых видов обработки существенно повышается стойкость инструмента, уменьшается количество неровностей поверхности, снижаются остаточные напряжения, тем самым повышая производительность. Для эксперимента были выбраны следующие марки: Sinertek DS, Addinol WM440, Sinertek MX, Аквол-6, Isogrind-130EP. Охлаждающее действие СОЖ можно оценить по скорости охлаждения датчика температуры, нагретого до температуры, возникающей в зоне резания, и погруженного в испытываемую СОЖ. По полученным результатам – наибольшим охлаждающим действием обладают СОЖ Аквол-6, Sinertek DS поскольку они способны охлаждать с наибольшей скоростью.

**Ключевые слова:** смазочно-охлаждающая жидкость, охлаждающее действие, скорость охлаждения, датчик температуры, цифровой термометр.

**П. В. Назаров, И. К. Черных, Е. Н. Матушко, И. А. Бугай, Е. В. Васильев**

Анализ схем крепления режущих пластин для затачивания по задней поверхности

В современном машиностроении при использовании в процессе резания металлорежущих пластин повсеместно наблюдается ситуация, когда пластины перестают использовать по наступлении их предельного износа, заданного заводом-изготовителем. Пластины не восстанавливаются вручную из-за точности геометрии и редко восстанавливаются на специализированном оборудовании из-за, во-первых, отсутствия такового оборудования и, во-вторых, из-за неполной проработки и исследования данного вопроса. В статье исследуется проблема затачивания режущих пластин по задней поверхности, проводится анализ схем крепления. Анализируются достоинства и недостатки каждой из схем, выбирается наиболее целесообразная и приводятся подтверждающие расчёты.

**Ключевые слова:** твердосплавные пластины, затачивание, восстановление ресурса инструмента.

**П. В. Назаров, И. К. Черных, И. А. Бугай, Е. В. Васильев, М. В. Васильева, Е. Н. Матушко**

Проектирование приспособления для накатывания ломаного углового профиля

В современном машиностроении часто возникает проблема получения ломаного углового профиля на листовых заготовках в связи с конструктивными особенностями получаемой детали. В статье приводится анализ существующих методов образования профиля на листовых заготовках. Анализируются достоинства и недостатки применения методов в современных условиях и выбирается наиболее целесообразный. Приводится расчёт напряжений процесса штамповки при помощи программных средств. Результатом исследования является разработка приспособления для накатывания ломаного углового профиля на универсальном горизонтально-фрезерном станке.

**Ключевые слова:** профилирование, пластическое деформирование, штамповка, листовые заготовки.

**Ю. В. Титов, Д. С. Реченко, Н. С. Артёмов, А. Ю. Андрейчук**

Интерметаллидные соединения

Большой резерв в повышении свойств конструкционных материалов лежит в образовании поверхностных слоёв на основе интерметаллидных соединений и фаз внедрения. В данной статье представлены структурные и физико-химические особенности интерметаллидных соединений и фаз внедрения. Интерметаллиды обладают, как правило, высокой твёрдостью и высокой химической стойкостью, сохраняют упорядоченную структуру вплоть до температуры плавления.

**Ключевые слова:** интерметаллидные соединения, интерметаллиды, структурный тип, сплавы, кристаллическая решётка.

**А. А. Шаргаёв, Н. Г. Макаренко**

Электрохимикомеханическое упрочнение дорожек качения подшипника

Предложено электрохимикомеханическое упрочнение дорожек качения меднографитным материалом для повышения ресурса подшипников. Выбраны методы проведения исследований для оценки характеристик подшипников по результатам эксперимента. Проведено упрочнение и приработка подшипников качения, выполнены стендовые и эксплуатационные испытания на автомобиле. Получены результаты остаточного ресурса деталей серийных и упрочненных образцов подшипников качения.

**Ключевые слова:** электрохимикомеханическое упрочнение (ЭХМО), подшипник качения (ПК), ресурс, микротвердость, шероховатость, вибродиагностика.

**А. С. Янушевский, В. В. Коршунов**

Производство магниевых отливок в металлические формы

В предлагаемой работе проанализированы результаты исследований в области магниевого литья и производственного опыта в получении качественных отливок. Установлено, что на качество литой поверхности изделия, на размерную точность отливок и на их механические свойства оказывают влияние температура заливки, состав и свойство стержневых материалов, методы упрочнения стержней, составы защитных кокильных красок.

**Ключевые слова:** плавка, заливка, флюс, рафинирование, модифицирование, магниевый сплав.

#### ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. ЭНЕРГЕТИКА

**А. В. Бубнов, А. Н. Четверик**

Улучшение динамики синхронно-синфазного электропривода на основе использования способов регулирования с принудительным изменением алгоритма работы логического устройства сравнения

Синхронно-синфазный электропривод, построенный на основе электропривода с фазовой синхронизацией, широко используется в тепловизионных и лазерных сканирующих системах благодаря высоким точностным и динамическим характеристикам в широком диапазоне регулирования угловой скорости. Целью статьи является анализ возможностей улучшения динамики электропривода с фазовой синхронизацией и синхронно-синфазный электропривода на основе использования способов регулирования с принудительным изменением режима работы логического устройства сравнения в переходных режимах работы электропривода. Предложена классификация способов принудительного изменения режима работы логического устройства сравнения и представлены функциональные схемы, при реализации которых используются логическое устройство сравнения с возможностью принудительной разблокировки.

**Ключевые слова:** электропривод с фазовой синхронизацией, синхронно-синфазный электропривод, логическое устройство сравнения, дискриминатор, фазовая автоподстройка частоты.

**М. М. Никифоров, А. П. Шатохин**

Расчет предельной стоимости внедрения накопителя электрической энергии для системы тягового электроснабжения постоянного тока

В работе рассматривается вопрос оценки экономической целесообразности внедрения накопителей электрической энергии на объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта ОАО «РЖД». Приведены основные показатели экономического эффекта, достигаемого при установке накопителей электрической энергии. Расчет предельной стоимости накопителя электрической энергии приведен для двух вариантов его установки, а именно на участках, где нет лимитирующих межподстанционных зон и при их наличии.

**Ключевые слова:** экономическая эффективность, энергетическая эффективность, система тягового электроснабжения, емкостной накопитель энергии, лимитирующая зона.

**П. В. Рысев, В. К. Федоров, В. О. Кропотин, В. И. Новоселов**

Повышение надежности силовых масляных трансформаторов путем улучшения теплоотдачи

Рассмотрены различные методы оценки надежности трансформатора, основанные на анализе статистических данных и логическом методе дерева отказов, для того чтобы проанализировать наиболее частые отказы, учитывается зависимость характеристик обмоток трансформатора от температуры и от эффективности охлаждения. Произведен расчет теплоотдачи трансформатора ТРДН-25000/110 У1 и найдена зависимость коэффициента теплоотдачи от количества трубок в охладителе. Вычисления производились по методике Голунова А. М. Полученные результаты исследования базируются на основе теоретических расчетов и позволяют контролировать показатели надежности и ресурс трансформаторов.

**Ключевые слова:** надежность, коэффициент теплоотдачи, маслоохладитель, силовые масляные трансформаторы, дерево отказов, нагрев оборудования.

**В. Ю. Мирошник, Д. В. Батулько**

Методы и алгоритмы для определения места однофазного замыкания на землю в сетях 6–35 кВ с использованием параметров аварийного режима

Проведен обзор и анализ существующих методов и алгоритмов определения расстояния до места однофазного замыкания на землю в сетях 6–35 кВ с использованием параметров аварийного режима. Сформулированы достоинства, недостатки рассмотренных методов и алгоритмов. Рассмотрены способы повышения точности определения расстояния до места однофазного замыкания на землю. Приведено описание наиболее перспективных методов и алгоритмов применяемых в современных микропроцессорных устройствах защиты и автоматики.

**Ключевые слова:** распределительная сеть, однофазное замыкание на землю, определение расстояния до места однофазного замыкания, микропроцессорные устройства защиты.

**Т. А. Новожилов, А. Н. Новожилов, А. О. Потапенко**

Определение периода электрического сигнала в электроэнергетике для его спектрального анализа

Одним из наиболее распространенных методов исследования электрических сигналов в электроэнергетике, получаемых от измерительных преобразователей, является

спектральный анализ, осуществляемый путем разложения в ряд Фурье. При этом достоверность результатов, получаемых при диагностике, в значительной мере зависит от точности определения периода основной гармонической этого электрического сигнала. В предлагаемой работе сделан анализ известных методов определения периода нужд систем диагностики повреждения обмотки короткозамкнутого ротора асинхронного двигателя, выявлены их недостатки и предложен новый метод, основанный на определении периода по экстремумам суммы дискретных значений контролируемого сигнала.

**Ключевые слова:** измерительные преобразователи, электрический сигнал, спектральный анализ, определение периода.

#### **Е. С. Флек**

Особенности расчета теплообмена в топке котельной установки при сжигании водоугольного топлива

Разработана методика теплового расчета топки при сжигании водоугольного топлива. Представлены результаты теплового расчета топки парового котла ТП-35. Оценены показатели работы парового котла при различных нагрузках. Приведены тепловые режимы работы парового котла ТП-35 в расчетном диапазоне производительности.

**Ключевые слова:** водоугольное топливо, паровой котел, тепловой режим, тепловые характеристики топки, продукты сгорания.

#### **ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ**

#### **И. В. Дулькейт, В. Л. Хазан, И. С. Землянов, А. Н. Юрьев**

Частотно–временная синхронизация для низкоэнергетических радиолоний, использующих модемы с OFDM

В статье приводятся результаты анализа метода частотно-временной синхронизации для низкоэнергетических радиолоний, использующих метод уплотнения с ортогонально-частотным разделением (OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Показано, что предложенный метод обладает низкой чувствительностью к точности временной синхронизации. Данный метод позволяет использовать сигналы систем точного времени для вхождения и ведения связи.

**Ключевые слова:** частотно-временная синхронизация, OFDM-модем, системы точного времени.

#### **П. И. Пузырёв, К. В. Семёнов**

Исследование влияния параметров алгоритма CORDIC в составе цифрового смесителя на динамический диапазон, свободный от паразитных составляющих

В данной работе исследовано влияние параметров алгоритма CORDIC в составе цифрового смесителя, на динамический диапазон, свободный от паразитных составляющих (SFDR), выявлены наилучшие значения параметров CORDIC в целях реализации наиболее эффективного цифрового смесителя, с высокой чистотой спектра. В результате была получена зависимость изменения SFDR от параметров CORDIC, а так же получено аппроксимирующее выражение, позволяющее выполнить оценку снизу, т. е. получить значение SFDR, которое гарантированно будет обеспечено для выбранных параметров

CORDIC во всем частотном диапазоне. Новым в данной работе является применение сквозного подхода к проектированию, позволяющее быстро перейти от математического моделирования к прототипированию на ПЛИС.

**Ключевые слова:** CORDIC, цифровой смеситель, динамический диапазон, свободный от паразитных составляющих, цифровой понижающий преобразователь.

**А. Ю. Тэттэр, В. Ю. Тэттэр**

Методы обработки сигналов при вибродиагностировании колесно-моторных блоков локомотивов

Показана важная роль вибродиагностического оборудования в процессе ремонта подвижного состава. Рассмотрены преимущества и недостатки основных методов обработки сигналов во временной и частотной области при вибродиагностировании узлов подвижного состава железных дорог. Определены перспективные направления внедрения рассмотренных методов. Сделан вывод о целесообразности использования одновременно нескольких методов анализа в частотной области.

**Ключевые слова:** вибрация, методы диагностирования, параметры временного сигнала, частотный анализ, спектр, преобразование.

**А. И. Чередов, А. В. Щелканов**

Преобразователь напряжение-частота на основе электрического домена

Показана возможность построения преобразователей напряжение-частота (ПНЧ) на основе электрического домена. Приводятся результаты экспериментальных исследований ПНЧ. Чувствительный элемент ПНЧ на основе электрического домена выполнялся из арсенида галлия (GaAs). Диапазон преобразования составлял единицы вольт и лежал в пределах от (7–8) до 10 вольт. Чувствительность ПНЧ в этом диапазоне достигала (7–10) МГц/В.

**Ключевые слова:** измерительный преобразователь, эффект Ганна, частотный выходной сигнал, чувствительность, полупроводник.

**В. Е. Леонов**

Технология получения твёрдых растворов системы CdSe-ZnS и исследование их кислотно-основных свойств

Представлен способ получения твёрдых растворов системы CdSe-ZnS методом изотермической диффузии в режиме программированного нагрева. Приведены результаты рентгенографического анализа, согласно которым исследуемые объекты идентифицированы как твёрдые растворы замещения. Представлены результаты исследований кислотно-основных свойств твёрдых растворов  $(\text{ZnS})_x(\text{CdSe})_{1-x}$  методами гидролитической адсорбции, механохимического диспергирования и неводного кондуктометрического титрования. Показана возможность прогнозирования практического применения изучаемых объектов в качестве материалов для сенсоров экологического назначения.

**Ключевые слова:** полупроводник, алмазоподобный полупроводник, твёрдый раствор, гидролитическая адсорбция, механохимия, неводное кондуктометрическое титрование.

**А. С. Чернов, В. А. Гридчин, А. Д. Бялик**

Моделирование оптомеханического узла фотоэлектрического сенсора давлений

В статье рассмотрены вопросы проектирования оптомеханического узла нового типа сенсора давления, предназначенного для работы во взрыво- и пожароопасных средах. Анализ базируется на конечноэлементной модели оптомеханического узла для двухточечной схемы нагружения. В рамках упрощенной аналитической модели рассматривается влияние конструктивных параметров на преобразовательную характеристику оптомеханического узла.

**Ключевые слова:** упругий элемент, оптомеханический узел, оптоволокно, фотоэлектрический сенсор давления, численное моделирование.

**В. В. Томилов, О. С. Томилова, П. Б. Сергеев**

Совершенствование методики контроля дозы ультрафиолетового облучения воды

Развитие и сохранение централизованных систем водоснабжения обеспечивается качеством поставляемой воды потребителю. Транспортировка воды на дальние расстояния требует применения систем ее доочистки, например, с помощью ультрафиолетового облучения. В статье приведена оценка точности существующей методики контроля дозы ультрафиолетового облучения воды. Усовершенствованная методика, основанная на оптическом контроле подкрашенных струй, позволяет экспериментально определить время облучения воды, дать оценку существующей эффективности обеззараживания устройства в лабораторных условиях с применением специализированного стенда и на действующих установках.

**Ключевые слова:** ультрафиолет, стерилизатор, доза облучения, время облучения, видеоконтроль, специализированный стенд.

**В. И. Мамычев, В. И. Сединин**

Алгоритмы оптимизации быстродействия СБИС по технологии системы на кристалле с проектно-технологическими нормами 180 нм

В статье рассматривается методика и алгоритмы оптимизации для систем, в которых быстродействие имеет критичное значение. Целью статьи является качественный и количественный анализ конвейеризации и мультиплексирования в интегральных схемах. Использован системный метод исследования, учитывающий различные параметры интегральных схем. Рассматриваемая работа ориентирована на микроэлектронную фабрику TSMC. Получены зависимости быстродействия, энергопотребления и площади интегральной схемы от параметров оптимизации.

**Ключевые слова:** интегратор, интерполяция, конвейеризация, умножитель, тактовый сигнал.



## **ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

**В. Н. Задорожный**

Растущие сети с потерями узлов

Разрабатываются методы анализа растущих сетей со случайными потерями узлов. На основе теории случайных графов предпочтительного связывания выводятся уравнения для распределения степеней вершин в переходном и стационарном режимах. Предлагаются численные методы решения полученных уравнений. Приводятся примеры расчетов. Оценивается устойчивость распределения степеней вершин к потерям.

**Ключевые слова:** теория сетей, случайные графы предпочтительного связывания, переходные и стационарные распределения степеней связности.

**В. Н. Задорожный, Е. Б. Юдин**

Калибровка случайных графов предпочтительного связывания по распределениям степеней вершин и ребер

Разрабатываются методы калибровки случайных графов предпочтительного связывания при моделировании больших растущих сетей. Графы калибруются по распределениям степеней связности вершин и ребер. Математической основой методов является теория случайных графов с нелинейным правилом предпочтительного связывания. Полученные результаты расширяют возможности адекватного моделирования и исследования реальных растущих сетей (социальных, телекоммуникационных, транспортных, террористических, финансовых и т.д.).

**Ключевые слова:** случайные графы, распределения степеней связности вершин и ребер (дуг), нелинейное правило предпочтительного связывания.

**А. А. Ибатуллин, А. А. Огулов, Р. А. Хакимов**

Применение непрерывного анализа качества при создании системы усовершенствованного управления технологическим процессом установки сернокислотного алкилирования

В данной статье рассматривается задача повышения оперативности данных о качестве продуктов для системы усовершенствованного управления технологически процессом (СУУТП) установки сернокислотного алкилирования. Это необходимо для того, чтобы система усовершенствованного управления могла решать проблемы в темпе технологического режима. Была поставлена цель – разработать виртуальные анализаторы качества основных продуктов установки. На основе регрессионного анализа лабораторных и технологических данных работы установки было получено несколько моделей виртуальных анализаторов качества и была проведена оценка их адекватности, выбрана конечная модель.

**Ключевые слова:** виртуальный анализатор, СУУТП, сернокислотное алкилирование.

**А. А. Ибатуллин, А. А. Огулов, Р. А. Хакимов**

Разработка модели нечеткого ПИД-регулятора контура управления температуры в колонне деизобутанизации

В данной статье представлена проблема управления температурного контура в колонне деизобутанизации на установке сернокислотного алкилирования. Проанализированы

основные проблемы и характерные особенности настройки данного контура. Была поставлена цель – разработать ПО, которое позволит учитывать нелинейности и высокую инерционность технологического процесса. Выявлена и обоснована необходимость внедрения нечеткого управления. На основе проведенных исследований была разработана модель нечеткого ПИД-регулятора, а также создан пакет надстроек, реализующий принципы нечеткой логики, в АСУТП Centum VP фирмы Yokogawa.

**Ключевые слова:** нечеткое управление, алкилирование, Centum VP.

**А. Н. Флоренсов**

Асинхронные процессы взаимодействия как основа понятия информации

Формализованное понятие информации оказывается недостаточным для охвата фактически используемого содержания в технических науках с учетом не дискретных процессов управления. Предметом исследования является выработка определения, обобщающего дискретный и аналоговый подход и основанного на асинхронных воздействиях на управляемую систему, связывая локальные свойства информации и энтропийные оценки множественных взаимодействий. Вместо сообщения как конечной последовательности знаков, предложено рассматривать более широкое понятие прообраза кусочного отображение динамики воздействия. В качестве модели нестационарного потока сообщений используется асинхронные по характеру взаимодействия, изучавшиеся в теории последовательных взаимодействующих процессов.

**Ключевые слова:** информация, сообщение, управление, воздействие, взаимодействие, асинхронные процессы.

**Е. Б. Юдин**

Расчет числа мотивов на трех узлах методом случайной выборки каркасов в сетях с направленными связями

Задача разработки эффективных алгоритмов для расчета частот встречаемости неизоморфных связанных подсетей (мотивов) на заданном количестве узлов является актуальной задачей теории сетей. Комбинаторно-логический характер этой задачи обуславливает большие затраты времени и/или оперативной памяти при расчете сетей, содержащих сотни тысяч узлов. В предлагаемой статье для решения данной задачи развивается основанный на статистическом подходе метод случайной выборки каркасов и разрабатывается алгоритм для расчета встречаемости 3-мотивов в сетях с направленными связями. Предлагается реализация этого алгоритма с использованием параллельных вычислений. Приводятся результаты численных экспериментов. При сравнении разработанного алгоритма с другими известными алгоритмами в ряде случаев выявляются его значительные преимущества по точности, быстродействию и затратам оперативной памяти.

**Ключевые слова:** сетевые мотивы, встречаемость мотивов, статистическое моделирование.

**В. С. Зыкин**

Инструментальная среда формирования внешних ключей на схеме реляционной базы данных

В работе рассматривается оригинальное программное обеспечение для автоматизации построения избыточного множества ссылочных ограничений на данные (внешних ключей). Эти ограничения позволяют регламентировать бизнес-правила в использовании

информации на предприятии, которая хранится в реляционной базе данных и обслуживается системой управления базами данных. Разработанное программное обеспечение автоматически ищет возможные варианты ссылочных ограничений, оставляя за пользователем право принятия или отклонения этих ограничений. В автоматическом режиме определяются и удаляются избыточные ссылочные ограничения целостности.

**Ключевые слова:** базы данных, ссылочные ограничения целостности, внешние ключи.