МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.А. ЧЕРНЫЙ

ОСНОВЫ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСТВА И НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Учебное пособие

Пенза 2010

УДК 669.621.74

Ч е р н ы й А.А.Основы изобретательства и научных исследований: Учеб. пособие – Пенза: Пенз.гос.ун-т, 2010. – 253 с.

Изложены основы изобретательства и научных исследований. Приводятся принципы технического творчества, эффективное математическое моделирование для оптимизации, прогнозирования процессов и изобретательства, раздел защиты изобретательских разработок. Даны задания для самостоятельной работы, изложены вопросы для самопроверки и контрольные вопросы.

Учебное пособие подготовлено на кафедре «Сварочное, литейное производство и материаловедение» Пензенского государственного университета и в Научно-исследовательском институте плавки литейных сплавов при ПГУ. Оно может быть использовано в учебном процессе, а также аспирантами, инженерно-техническими работниками при выполнении научно-исследовательских работ.

Учебное пособие содержит три раздела: Раздел первый «Принципы технического творчества»; Раздел второй «Эффективное математическое моделирование для оптимизации, прогнозирования процессов и изобретательства»; Раздел третий «Защита изобретательских разработок».

В пособии использованы оригинальные разработки автора, являющиеся его интеллектуальной собственностью.

Р е ц е н з е н т ы:
Научный совет Пензенского научного центра;
А.С. Белоусов, главный металлург ОАО «Пензадизельмаш».

© А.А. Черный, 2010

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ПРИНЦИПЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА

С О Д Е Р Ж А Н И Е

ВВЕДЕНИЕ …… 3
ХАРАКТЕРИСТИКА ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА ……. 4
СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ИНЖЕНЕРНОМ ТВОРЧЕСТВЕ …… 6
МЕТОДЫ АКТИВИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА ……11
ПОИСК НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ…….. .17
РЕШЕНИЕ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ ……23
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ РАБОТАМ, ВЫПОЛНЯЕМЫМ НА УРОВНЕ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА ……24
ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ НА УРОВНЕ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА …… 24
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ …… 25
ЛИТЕРАТУРА ……..… 26

ВВЕДЕНИЕ

История возникновения и развития человечества – это, прежде всего, история изобретений различных изделий и технологий.

Инженерное дело – это творческая техническая деятельность. В промышленности, в литейном производстве имеется большое количество нерешенных проблем. И поскольку без литых заготовок невозможно сделать многие машины, устройства, приспособления, сооружения, то необходимо решать сложные задачи улучшения качества и свойств отливок, создания новых композиционных материалов на основе литья. Оборудование, технологические процессы литейного производства необходимо непрерывно совершенствовать, заменять более эффективными, безопасными, безвредными, энергосберегающими, экономичными разработками на основе новых открытий и изобретений.

Чтобы стать изобретателем, нужным производству специалистом, надо научиться инженерному творчеству. По мере включения специалиста в творческий процесс накапливается опыт решения творческих задач. Инженер постепенно может стать новатором, крупным производственным деятелем, рационализатором, изобретателем.

На основе изобретений многие специалисты защищают кандидатские и докторские диссертации. Инженеры-изобретатели становятся учеными, обучают изобретательству молодых специалистов. А это способствует тому, что количество запатентованных изобретений с каждым годом возрастает.

Без изобретений нет новой техники, новых технологий. Поэтому обучение изобретательству дает большой экономический эффект. Запатентованные изобретения можно выгодно не только внедрять в производство, но и продавать зарубежным фирмам.

Следовательно, инженерное творчество обеспечивает ускорение научно-технического прогресса и экономическое укрепление государства.

ХАРАКТЕРИСТИКА ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА

Различают научное, научно-техническое и техническое творчество. *Научное творчество* удовлетворяет потребности познания окружающего мира, т. е. это творчество в фундаментальных науках, результатом которого являются открытия.

Открытие - это установление неизвестных ранее объективно существующих закономерностей, свойств и явлений материального мира, вносящих коренные изменения в уровень познания.

Научно-техническое творчество заключается в исследовании закономерностей известных явлений с целью их использования в практике. В основе этого вида творчества лежат прикладные науки, различного рода отраслевые исследования, в результате которых разрабатываются новые технические и технологические решения. Результатом данного вида творческой деятельности являются преимущественно сложные изобретения.

Техническое творчество реализуется в результате инженерной деятельности, направленной на разработку новых технических решений на основании известных закономерностей. Результатом технического творчества являются простые изобретения, рационализаторские предложения и конструкторские разработки.

В качестве основного признака отличия одного показателя, характеризующего результат процесса творчества, от другого можно использовать степень новизны полученного решения.

Промышленный образец – это новое художественно-конструкторское решение изделия, определяющее его внешний вид, соответствующее требованиям технической эстетики, пригодное к осуществлению промышленным способом и дающее положительный эффект.

Любую инженерную задачу *(ИЗ)* можно упрощенно представить совокупностью трех компонентов: < *ИД, А, Р* >, где *ИД* - исходные данные (материалы, сырье, энергия, информация и т. п.); *А* - алгоритм решения задачи (способ переработки сырья, обработки информации или преобразования энергии, технология изготовления изделий); *Р* - результат решения задачи (конечный продукт).

Эти компоненты в зависимости от типа задачи могут быть известными (заданными) или неизвестными (неопределенными). В зависимости от этого все множество инженерных задач можно свести к конечному числу типов задач.

Если все компоненты задачи известны, то имеет место обычная инженерная задача.

Ко второму типу относятся задачи, в которых неизвестны исходные данные. Это инженерная задача поиска сырья, исходного продукта, источника энергии или информации и т.д. для достижения известной цели известным способом.

В третьем типе задач неизвестен способ преобразования исходных данных в конечный результат. Это инженерная задача поиска новой технологии переработки сырья, нового способа преобразования энергии или алгоритма обработки информации, новой конструкции или новой технологии изготовления заданного изделия из конкретных материалов.

К четвертому типу относятся задачи, в которых неизвестен конечный результат, т.е. задачи поиска новой модели конструкции, формы, функции, материала и т.д. путем преобразования заданных исходных данных известными способами (технология).

Пятый тип – это задачи, в которых известен лишь конечный результат (продукт, изделие). Это инженерные задачи поиска нового исходного сырья и новой технологии для достижения известной цели, создания искусственных конструкций, материалов.

В шестом типе задач известными являются только исходные данные. Это инженерные задачи утилизации, эффективного использования резервов и возможностей, превращения вредных явлений в полезные, поиска нового применения известных объектов.

К седьмому типу относят задачи, в которых известен лишь способ, явление преобразования. Это задачи практического применения открытий, результатов научных исследований, законов, физических и химических эффектов и явлений.

И, наконец, последний тип, когда неизвестен ни один из компонентов, относится к новым, пока еще не существующим задачам.

Данная классификация инженерных задач позволяет предопределить необходимые методы и средства решения. Если один или два компо-

нента неизвестны, то задача может быть отнесена к изобретательским задачам.

Решение изобретательской задачи немыслимо без сбора, анализа и переработки информации о новейших творческих разработках, о тенденциях развития соответствующей отрасли техники и конкретного технического объекта, о существующих и прогнозируемых общественных потребностях, новых научных достижениях и технических возможностях.

Одним из решающих факторов научно-технического прогресса является трансформация научных знаний и результатов творческой деятельности в производственные процессы.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ИНЖЕНЕРНОМ ТВОРЧЕСТВЕ

Системой называется такая совокупность элементов, обладающих различными свойствами, параметрами и пространственной структурой, которая обеспечивает выполнение какой-либо единой цели или функции. Система – это совокупность элементов, связанных технологически, конструктивно, функционально.

Эффективное решение инженерной задачи возможно лишь на основе всестороннего, целостного рассмотрения разрабатываемой системы и ее развития (изменения) в процессе взаимодействия с окружающей средой. Лишь такой системный подход способен привести к подлинно творческим новаторским решениям, вплоть до сложных изобретений и научных открытий.

Для систем рассматриваются три характерных типа задач.

Задача анализа – задана структура системы, необходимо определить ее функционирование (поведение).

Задача синтеза – заданы характер функционирования и другие требования к системе, необходимо определить структуру, которая удовлетворяет постановленным требованиям.

Задача «черного ящика» - задана система, структура которой неизвестна или частично, определить ее функционирование и, возможно, структуру.

В общем случае, для того чтобы любой объект можно было рассматривать как систему, необходимо определить его системные характеристики: функцию, структуру, свойства и связи с окружающей средой.

В задачу системного анализа объектов входят:

- разработка формализованных моделей, описывающих структуру, функцию и свойства систем;

- характеристика иерархического строения систем и взаимосвязей элементов различного уровня;

- определение интегральной функции системы на основе функций отдельных элементов;

- определение общих свойств системы, исходя из свойств составляющих ее элементов.

Системный подход к творческой деятельности ориентирует инженера применять научные методы там, где силы воображения и опыта недостаточно. Такой подход является предпосылкой изобретательской деятельности и эффективного проектирования и конструирования, а также позволяет отойти от устаревших традиций и шаблонов.

С развитием науки появляются новые знания, которые позволяют разработать новые материалы, технические решения и использовать их для создания нового технологического оборудования (объектов техники). Новая техника внедряется в производство с целью повышения его эффективности. Отсюда очевидно, что темпы развития науки должны опережать темпы развития техники и производства.

Освоение нового изделия или технологического является, как правило, результатом большой предварительной работы, включающей научные исследования, научное прогнозирование, патентный поиск, сравнение с лучшими образцами передовых отечественных предприятий и зарубежных фирм, предварительный расчет экономической эффективности капитальных затрат. Наибольший экономический эффект дают новые изделия или технологические процессы, разработанные на основе фундаментальных исследований, принципиально новых научных идей и направлений, технических решений, защищенных охранными документами (авторскими свидетельствами или патентами).

Важную роль в повышении эффективности инженерной деятельности и ее творческих результатов при поиске новых технических решений играют знание закономерностей развития технических систем, умение их анализировать и использовать для выявления резервов их развития, определения целесообразности совершенствования или создания принципиально новых технических систем

Закономерности развития техники должны помогать находить ответы на ряд вопросов, которые могут возникать у творчески работающих конструкторов и инженеров, технологов. Это следующие вопросы:

Как для определенного класса технических систем и техники в целом происходит прогрессивная конструктивная эволюция, т.е. как со временем изменяются функциональная структура, принцип действия и техническое решение?

Как со временем изменяются производительность труда и другие критерии прогрессивного развития определенного класса технических систем?

Как возрастают со временем потребности и соответствующие им функции технических систем в смысле разнообразия и количественной характеристики?

Как возрастает со временем разнообразие технических систем, имеющих одинаковые или близкие функции, а также разнообразие технических систем в отрасли?

Как возрастает со временем сложность технических систем?

Как растут со временем затраты энергии, материалов и информации в расчете на одного человека?

Таким образом, инженер, приступая к разработке новой технической системы, должен, используя диалектический метод и системный подход как методическую основу технического творчества, проанализировать динамику развития и обоснованно сформулировать конкретную программу своих действий.

Исходя из того, что технический объект рассматривается как система, системный подход основывается на ряде принципов, раскрывающих его сущность. Рассмотрим некоторые из них.

Принцип целостности заключается в признании того, что некоторые совокупности объектов могут проявлять себя как нечто целое, обладающее такими свойствами, которые принадлежат именно всему целому (системе), а его составным частям элементам и подсистемам данной системы), и позволяют выделить эту совокупность из основного мира, составляющего окружающую среду данной системы.

Например, совокупность гладильной подошвы, нагревательного элемента в виде спирали, регулятора температуры, ручки, собранных определенным образом, образует электрический утюг, который рассматривается не как совокупность деталей, а как нечто целое, самостоятельное, обладающее свойствами, отличными от свойств своих частей. Из этого принципа следует важная особенность системного подхода, заключающаяся в требовании не ограничиваться при разработке новых машин, устройств анализом их частей и взаимодействии между ними, а обязательно постигать и учитывать свойства системы как целого.

Принцип совместимости элементов в системе указывает на то, что система, обладающая определенными системными свойствами, может быть построена не из любых элементов, а только из таких, свойства которых удовлетворяют требованиям совместимости. Это означает, что собственные свойства элементов (форма, размеры, контур, поверхность, цвет, физико-механические характеристики и др.) должны быть такими, чтобы обеспечивать взаимодействие их друг с другом как частей единого целого.

Принцип структурности заключается в признании того, что элементы, из которых создается система, находятся в системе не произвольно,

а образуют определенную, характерную для данной системы структуру, описываемую некоторым системообразующим отношением, выражающим взаимосвязь и взаимозависимость между элементами в системе.

Принцип нейтрализации дисфункций указывает на то, что в силу своих внутренних свойств или под воздействием внешней среды элементы системы могут приобретать свойства и функции, не соответствующие свойствами и функциям системы в целом. Поэтому при создании новых систем из определенной совокупности элементов с целью обеспечения устойчивости системы необходимо предусматривать «механизмы», на правильные на нейтрализацию дисфункций.

Принцип эволюции утверждает, что для различных технических систем характерно явление эволюции, поэтому необходимо использовать эволюцию как мощный инструмент технического творчества и не наносить вред будущему непродуманным вмешательством в эволюционные процессы развития.

Принцип специализации и интеграции функций указывает на то, что при развитии систем происходят два как бы противоположных и в то же время взаимодополняющих явления, способствующих повышению эффективности системы: с одной стороны, специализация элементов на выполнение определенных функций, с другой - сосредоточение родственных функций у определенных элементов, т.е. возникновение интегральных функций и иерархических структур.

Принцип лабилизации функций. С развитием системы появляется свойство быстрого изменения и приобретения новых функций при относительной стабильности состава и структуры системы.

Принцип адаптации. Техническая система, функционирующая в изменяющейся окружающей среде, должна обладать свойствами адаптации, т.е. свойством перестраивать свои структуру, параметры и функционирование с целью удовлетворения потребностей окружающей среды.

Необходимость создания адаптивных систем следует из самого факта изменчивости окружающей среды, а возможность адаптации достигается вследствие изменения параметров структуры и поведения системы, применения механизмов положительных и отрицательных обратных связей.

Принцип изоморфизма указывает на существование изоморфизмов в структуре, функционировании и развитии систем различной субстанционной природы. Поиск общих свойств и закономерностей в строении, функционировании и развитии различных систем позволяет использовать их в разработке новой техники и технологии.

Принцип полифункциональности заключается в признании полифункциональности в назначении и поведении технических систем, выте-

кающей из возможности существования системы нескольких целей или функций.

Принцип комплексности состоит в том, что при разработке новых технических систем целесообразно использовать комплексный подход, заключающийся в построении и синтезе разноаспектных моделей одной и той же системы, а также в привлечении к работе представителей разных специальностей с целью полноты охвата всех проблем и аспектов.

Принцип итеративности процесса разработки новых технических систем. Необходимость итераций вытекает из следующего: инженер, разрабатывая сложную техническую систему, не может охватить все возможные ситуации сразу, поэтому его знание оказывается неполным, нуждающимся в дополнениях, уточнениях, в сравнениях с действительностью для выявления и устранения упущений. Необходимая полнота знания полнота знания и понимания достигается лишь в результате ряда итераций.

Принцип учета вероятностных факторов. Любая достаточно сложная техническая система вследствие невозможности проследить все причинно-следственные связи в самой системе и в окружающей ее среде выступает как не вполне детерминированный объект. Отсюда при создании новых технических систем и технологических процессов встает необходимость статистического исследования и вероятностной оценки явлений, протекающих в системе и в окружающей среде путем сбора и обработки соответствующих статистических данных.

Принцип иерархической декомпозиции заключается в признании относительности понятий «система» и «элемент» в том смысле, что всякий элемент может быть рассмотрен как система при переходе к более детализированной страте анализа и всякая система может быть рассмотрена как подсистема или элемент более обширной системы.

Принцип вариантности указывает на существование различных альтернатив технического решения системы, различных путей достижения одной и той же цели. Отсюда вытекает стремление проанализировать все возможные варианты решений с целью выбора наиболее эффективного.

Принцип математизации. Для облегчения анализа и выбора решения при разработке технических систем с помощью количественных оценок вариантов целесообразно применять математические методы исследования операций, оптимизации и другой аппарат системного анализа.

Принцип имитации заключается в целесообразности построения и программирования на ЭВМ моделей, имитирующих функционирование (поведение) технической системы или ее элементов. В результате такого воспроизведения процессов, протекающих в системе, проверяется правильность принятых решений, заложенных в создаваемом объекте.

Системный подход может и должен широко использоваться для решения разнообразных поисковых задач в технике, он предполагает рассмотрение объекта как системы, имеющей многообразные связи между ее элементами. И в этом его основное отличие от традиционных требований классической науки, которые направляют умственную деятельность на отыскание простых элементарных основ всякого объекта, т.е. требуют сведения сложного к простому.

Системный подход не дает конкретных рекомендаций в поисковой деятельности, но, являясь не очень жестко связанной совокупностью познавательных правил, помогает найти общее направление поиска, увидеть задачу более полно и глубоко.

МЕТОДЫ АКТИВИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА

Современная научно-техническая революция, характерной чертой которой является бурное развитие науки, техники и производства, вошла в противоречие со старым, ненадежным, малопроизводительным способом мышления. Человечество пытается преодолеть это противоречие путем создания специальных научных методов активизации и рациональной организации инженерного творчества. Это стремление повысить эффективность творческого труда инженера породило ряд приемов, методов и методик, позволяющих в той или иной степени активизировать мышление, развивать и реализовать творческие способности человека.

Цель методов активации поиска новых технических решений состоит в том, чтобы сделать процесс генерирования идей интенсивнее, повысить «концентрацию» оригинальных идей в общем их потоке. Для этого в методах применяют специальные механизмы повышения эффективности творческого процесса.

Наиболее широкое распространение из числа коллективных методов поиска новых идей решения изобретательских (инженерных) задач нашли метод «мозгового штурма» и его разновидности, а также метод синектики.

«Мозговой штурм». В основу метода «мозгового штурма» положен принцип разделения в пространстве или во времени процессов генерирования идей и их экспертизы, что позволяет в значительной мере преодолевать такие отрицательные свойства человеческого мышления, как психологическая инерция, стремление действовать в соответствии с прошлым опытом и знаниями, идти традиционными путями, устранять психологические препятствия, вызываемые боязнью критики.

Реализация указанного принципа достигается тем, что сформированную перед началом штурма только в общих чертах задачу последова-

тельно решают две группы людей по 14-15 человек в каждой. Рекомендуется для проведения штурма приглашать людей разных специальностей и разного уровня образования. В то же время нежелательно включать в одну группу людей, присутствие которых может в какой-то степени стеснять других, например руководителей и подчиненных. Целью первой группы является только выдвижение идей решения задачи. В состав этой группы включают людей, склонных к абстрагированию, обладающих чувством новизны и фантазии, способных генерировать идеи, поэтому этих людей называют «генераторами идей».

Вторая группа осуществляет экспертизу выдвинутых в результате «штурма» идей, устанавливает степень их ценности с позиции оригинальности решения, экономичности и практической целесообразности. Вторую группу называют «экспертами идей» и в ее состав включают людей с аналитическим, критическим складом ума.

В настоящее время существует много разновидностей метода «мозгового штурма»: индивидуальный, обратный, парный и массовый, двухступенчатый с оценкой идей, «конференция идей», с дополнительным сбором идей. В *индивидуальном* «штурме» задачи участвует один человек, последовательно генерируя идеи, а затем анализируя и оценивая их. В *обратном* «мозговом штурме» на первое место выдвигается критика, что позволяет находить недостатки и ограничения технического объекта или высказанных идей. Обратный «мозговой штурм» целесообразно применять для выявления и постановки новых изобретательских задач, которые, как правило, носят более конкретный характер. *Парный* «мозговой штурм» проводят два человека, один из которых генерирует идеи, а второй их анализирует и оценивает.

Массовый «мозговой штурм» проводится в больших аудиториях с целью увеличения эффективности процесса генерирования новых идей. Всех участников «штурма» делят на группы по 5-7 человек, их руководителей за 2-3 дня ставят в известность о предстоящем «штурме», знакомят с порядком его проведения и с задачей, которую предстоит решать. Задачу формулируют как личную.

«Мозговой штурм» получил дальнейшее развитие в виде метода *«конференции идей».*

Синектика. Сущность метода определяет его название «синектика», что в переводе с греческого означает совмещение разнородных элементов. В отличие от метода «мозгового штурма» поиск новой идеи или решения в процессе синектического заседания осуществляется группой профессионалов (оптимальный состав 5-7 человек) - людей различных специальностей, которых обучают изобретательским приемам творческого

решения проблем путем неограниченной тренировки воображения и объединения несовместимых элементов.

Синектическое заседание отличается от «мозгового штурма» использованием некоторых приемов психологической настройки, в том числе очень активным применением различных аналогий.

Главными инструментами поиска новых идей решения проблемы в ходе синектического заседания являются аналогии, среди которых чаще всего используются следующие: прямая, личная, символическая, фантастическая.

При *прямой* аналогии делается попытка использования аналогичных решений в других отраслях техники или живой природе по отношению к рассматриваемому объекту или процессу.

Личная аналогия, или эмпатия, заключается в отождествлении себя с рассматриваемым объектом или процессом.

Сущность *символической* (абстрактной) аналогии заключается в том, что требуется в краткой парадоксальной форме (буквально в двух словах) сформулировать фразу, отражающую суть явления (процесса) рассматриваемой проблемы. Она должна выражать связь между словами, которые обычно никак друг с другом не сопоставляются, и содержать в себе нечто неожиданное, удивительное.

Применяя *фантастическую* аналогию, вводят различные фантастические средства или персонажи, выполняющие то, что требуется по условиям задачи. Такая аналогия способствует генерации свежих и оригинальных идей, активизирует творческое мышление.

Полученные в результате использования аналогии новые идеи увязывают с решаемой проблемой, анализируют и определяют их возможности. Отдельные предложения, возникающие в процессе обсуждения, используются, чтобы вызвать новые точки зрения на проблему, способствующие успешному ее разрешению. Важным элементом этого этапа является критическая оценка экспертов.

На последнем этапе синектического заседания осуществляются развитие и максимальная конкретизация идеи, признанной наиболее удачной. Основное время синекторы посвящают инженерному анализу, изучению и обсуждению полученных результатов, консультируются со специалистами, экспериментируют, а когда решение созрело, занимаются поисками наилучших способов его реализации.

Для активации поиска новых идей в практике инженерного творчества применяются так называемые ассоциативные методы (каталога, фокальных объектов, гирлянд случайностей и ассоциаций).

Процесс поиска новых идей с помощью ассоциативных методов осуществляется путем поиска аналогов совершенствуемого объекта, пере-

носа знаний из одной области в другую, интерпретации нового посредством известных понятий и т.д. В связи с этим в творческом процессе достаточно эффективно используются такие источники генерирования новых идей, как ассоциация, метафора и аналогия.

Ассоциация – это связь между отдельными представлениями, при которой одно представление вызывает другое. Метафора означает перенесение свойств одного предмета (явления) на другой объект на основании общего для обоих признака. Аналогия отражает сходство предметов, явлений, процессов в каких-либо свойствах.

Для возникновения ассоциаций и генерирования идей можно использовать цвет, как он оказывает определенное психологическое воздействие на человека.

Красный цвет психофизиологически наиболее активно воздействует на человека, стимулирует его психическую деятельность, активизирует реакции, поэтому используется для кратковременной активизации деятельности; продолжительное воздействие при больших угловых размерах поля зрения вызывает сенсорное утомление и спад активности; плохо виден при слабой освещенности.

Оранжевый цвет стимулирует нервно-мышечную деятельность, способствует психологическому контакту с окружающей средой, при большой насыщенности вызывает ощущение угрозы, поэтому применяется в качестве сигнала предупреждения.

Желтый цвет ассоциируется с солнечным светом, действует возбуждающе, способствует впечатлению уюта и чистоты помещения, стимулирует внимание, Однако слишком желтый цвет утомляет глаза; в соединении с черным цветом используется в сигнальной окраске для обеспечения безопасности движения.

Зеленый – цвет травы, деревьев; благоприятно действует на зрение, снижает нервную усталость, способствует бодрому настроению, стимулирует деятельность.

Голубой цвет ассоциируется с небом и водой, снижает возбуждение, успокаивает.

Синий цвет психологически вызывает ощущение спокойствия, создает благоприятную обстановку для умственной деятельности, снижает ощущение умственного утомления.

Фиолетовый и желто-зеленый цвета снижают напряжение; рекомендуются для помещений, где по характеру деятельности требуются тонкое восприятие и наблюдательность

Белый цвет ассоциируется с чистотой, стимулирует поддержание порядка.

Темные цвета, в том числе черный вызывают пессимистическое настроение, чувство угнетения, тяжести, снижают эффективности освещения; черный цвет весьма подходящ для создания контрастов; предметы, окрашенные в черный цвет, кажутся более тяжелыми.

Применение ассоциаций, метафор и аналогий позволяет находить подсказки решения различных инженерных задач. Эти свойства ассоциаций, метафор и аналогий и послужили основой для создания ассоциативных методов активизации творческого мышления.

Сущность метода фокальных объектов состоит в перенесении признаков случайно выбранных объектов на совершенствуемый предмет, что приводит к резкому увеличению числа оригинальных вариантов решения задачи.

Алгоритм метода фокальных объектов определяет следующий порядок действия:

1. Выбор фокального объекта.
2. Выбор трех-четырех случайных объектов (их берут наугад из словаря, каталога, журнала и т.д.).
3. Составление для каждого случайного объекта признаков их характеризующих.
4. Генерирование идей путем присоединения к фокальному объекту признаков случайных объектов.
5. Развитие полученных сочетаний путем свободных ассоциаций.
6. Оценка полученных идей и отбор полезных решений.

Одним из важнейших элементов инженерного мышления является творческое воображение. Воображение часто приводит к фантазии, которая связана с желанием, чтобы произошло то, чего хочется. Использование фантазии для стимулирования новых идей заключается в размышлении над некоторыми фантастическими решениями.

Часто бывает полезно рассмотреть идеальные решения, даже с некоторой долей фантазии, чтобы попытаться найти нужное.

Фантазия является сильным катализатором к поиску новых нешаблонных идей решения задач.

Метод *морфологического анализа* (МА) является одним из примеров реализации системного подхода в творческом процессе. Метод эффективен при решении конструкторских и технологических задач общего характера: проектирование новых машин и технологического оборудования; поиск новых вариантов технологических процессов; поиск новых применений существующего объекта (изделия); прогнозирование развития технических систем и технологий и др.

Основной принцип метода МА состоит в систематизированном анализе всех возможных вариантов, вытекающих из закономерностей

строения (т.е. морфологии) совершенствуемой системы. В рассматриваемом техническом объекте (технической системе, технологическом процессе) выделяется несколько характерных для него структурных или функциональных морфологических признаков (Р). Каждый такой признак может характеризовать какой-то конструктивный режим работы, т.е. параметры или характеристики объекта, от которых зависит достижение основной цели объектом, определяемой его назначением.

Алгоритм метода морфологического анализа следующий:

1. Формулировка задачи (проблемы).
2. Составление списка всех морфологических признаков объекта задачи, т.е. всех важных характеристик объекта, его параметров и режимов работы, от которых зависит реализация объектом своей главной цели.
3. Раскрытие возможных вариантов по каждому морфологическому признаку и составление морфологической матрицы.
4. Формулировка конкретных решений задачи путем сочетаний вариантов морфологических признаков.
5. Определение практической ценности полученных вариантов решения задачи и выбор из них наиболее эффективных.

В результате глубоко морфологического анализа объекта можно прийти к новому взгляду на все поле возможных решений, а отсюда недалеко и до принципиально новых направлений усовершенствования конкретного технического устройства или технологического процесса.

Метод контрольных вопросов заключается в поиске решения задачи с помощью специально подготовленного перечня (списка) наводящих вопросов. Расчет делается на то, что при ответе на поставленные вопросы наступает то «озарение», которое приводит к нужной идее решения задачи. Метод может применяться либо в форме монолога инженера, обращенного к самому себе, либо диалога, например в виде вопросов, задаваемых руководителем «мозгового штурма» членам группы «генераторов идей».

В зависимости от специфики рассматриваемого объекта или целей анализа вопросы могут быть самыми разнообразными – от очень простых до весьма сложных. Обилие вопросов в списке не означает, что ответы на каждый из них должны привести к новой идее. Если в результате поиска решения с помощью этого метода будет получена хотя бы одна интересная идея, можно считать, что вопросник свою задачу выполнил. Некоторые списки содержат не вопросы, а краткие рекомендации, в других есть и то и другое.

Списки контрольных вопросов разрабатываются путем анализа и обобщения опыта работ технологов предприятия. Список – это способ передачи опыта, он позволяет не упустить каких-либо важных моментов, об-

ратить внимание на что-либо, направляет и расширяет возможности поиска решения.

ПОИСК НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ

Изобретательская задача – это такая инженерная задача, которая содержит техническое противоречие, неразрешимое известными техническими средствами и знаниями, причем условия задачи исключают компромиссное решение. Если техническое противоречие преодолено – изобретательская задача решена, получено изобретение. Появление новых изобретений – основная форма развития и создания новой техники и технологии.

Полагая, что изобретение – это новое техническое решение, полученное в результате преодоления противоречия, считают, что условия изобретательской задачи сформулированы, если указаны реальная техническая система и ее недостаток, идеальный конечный результат (идеальная техническая система) и выявлено противоречие между ними.

Идеальный конечный результат, т.е. идеальное решение – это наиболее сильное из всех мыслимых и немыслимых решений данной задачи. Оно основано на понятиях об идеальной машине (т.е. машины нет, но требуемое действие выполняется) и идеальном веществе (т.е. вещества нет, а его функция выполняется и т.д.).

Отрицательную роль в решении изобретательских задач играют психологическая инерция мышления, стремление действовать в соответствии с прошлым опытом и знаниями, идти традиционными путями. Психологическая инерция связана часто с пространственно-временными представлениями объекта и узкоспециальной терминологией (говорят также о психологических, терминологических и прочих барьерах).

Существующие технические решения являются результатом воплощения научных идей в конкретные объекты, конструкции, процессы, вещества. Но они одновременно являются и основой для развития новой техники, создания изобретений. Анализ и выделение научной основы технических решений, идей заложенных в них, позволяют решать по аналогии широкий круг других технических задач.

Фонд технических решений можно рассматривать как фонд конкретных примеров, иллюстрацию применения физических эффектов и явлений, которые сами по себе до такой степени универсальны, выражают научную идею в настолько общей технической форме, что становится возможным их непосредственное использование в новых технических задачах, прямое включение в новые технические решения без предварительного обобщения.

В изобретательской практике хорошо зарекомендовали себя фонды предприятий и личные фонды технических решений, картотеки патентов, научно-технических статей и монографий. Систематическое пополнение личного фонда – эффективный путь творческого потенциала и квалификации инженера.

Источниками пополнения отраслевых, личных и других фондов технических решений являются печатные материалы, в которых помещаются сведения об изобретениях, промышленных образцах и товарных знаках в виде описаний изобретений к патентам, авторским свидетельствам, публикуемым в соответствующих информационных изданиях.

Фонд технических решений может быть использован инженером в разных случаях: при анализе и выборе задач; при поиске идей решения; при синтезе новых технических объектов; с целью сравнительной оценки технико-экономической эффективности найденного решения по сравнению с известными; для прогнозирования развития науки, техники и технологии; при составлении заявки на изобретение.

В процессе решения задачи инженер использует свои знания, опыт, полученные им в процессе обучения и практической деятельности. Накопленные знания представляют собой набор эвристических правил, которые позволяют инженеру находить новые решения, улучшать известные. Например, эвристический прием «лишнее звено» наталкивает на идею – найти лишнее звено в технологической последовательности изготовления изделия и устранить его. Ведь технология создавалась методом проб и ошибок.

С цель рационализации трудового процесса технологическую операцию представляют совокупностью элементарных приемов (движений), а затем анализируют последовательность их выполнения с целью выявить лишние движения. Путем ликвидации нерациональных движений снижается затрата времени на выполнение операции.

Еще один принцип изобретательства – использование «патентов природы», т.е. применение принципов действия живых систем и использование биологических процессов для решения инженерных задач. Не меньшее количество «патентов» человек может позаимствовать и у растений.

Ниже приводятся эвристические преодоления технических противоречий.

1. *Принцип дробления* предусматривает разделение объекта на независимые части, выполнение объектов разборными, увеличение степени дробления (измельчения) объекта.

2. *Принцип вынесения* заключается в отделении от объекта мешающей части (свойства) или, наоборот, в выделении единственно нужной части (свойства).

3. *Принцип местного качества* состоит в переходе от однородной структуры объекта (процесса) к неоднородной. Разные части объекта должны иметь разные функции и характеристики, наиболее соответствующие их работе.

4. Принцип асимметрии предусматривает переход от симметричной формы к асимметричной.

5. Принцип объединения заключается в соединении (объединении) в пространстве или времени однородных или смежных операций (объектов).

6. Принцип универсальности – объект выполняет функции других объектов (тех, в которых теперь нет нужды).

7. Принцип «матрешки» - один объект размещен внутри другого, проходит сквозь полость в другом объекте, другой – внутри третьего и т.д.

8. Принцип антивеса заключается в компенсации массы (веса) объекта путем соединения его с другими объектами, обладающими подъемной силой, или взаимодействия со средой (за счет аэрогидродинамических и других сил).

9. Принцип предварительного напряжения подсказывает заранее придать объекту деформации (напряжения), противоположные нежелательным.

10. Принцип предварительного исполнения состоит в том, чтобы заранее выполнить требуемое изменение объекта (полностью или частично), расставить объекты так, чтобы они могли вступить в действие с минимальными затратами времени на их доставку.

11. Принцип «заранее подложенной подушки» заключается в компенсации невысокой надежности объекта заранее подготовленными аварийными средствами.

12. Принцип эквипотенциальности предусматривает такое изменение условий работы, чтобы не приходилось поднимать или опускать объект.

13. Принцип «наоборот» заключается в том, что вместо действия, диктуемого условиями, осуществляют обратное действие; для этого надо сделать движущуюся часть неподвижной, а неподвижную – движущейся, т.е. передвинуть объект.

14. Принцип сфероидальности заключается в переходе от прямолинейных частей к сферическим; в использовании роликов, шариков, спиралей.

15. Принцип динамичности указывает на то, что характеристики разрабатываемого объекта (процесса) должны меняться так, чтобы быть оптимальными на каждом этапе работы; для этого необходимо разделить

объект на перемещающиеся относительно друг друга части, т.е. неподвижный объект сделать подвижным.

16. *Принцип частичного ил избыточного решения* указывает на то, что если трудно добиться 100%-го результата от требуемого действия, надо получить чуть меньше или чуть больше.

17. *Принцип перехода в другое измерение* предусматривает увеличение числа степеней свободы объекта, переход от движения по линии в одном измерении к движению в нескольких измерениях, по плоскости, в пространстве; применение многоэтажной компоновки вместо одноэтажной, использование обратной стороны поверхности.

18. *Принцип использования механических колебаний* включает следующие варианты: перевести объект в колебательное движение; изменить частоту; использовать резонансные и ультразвуковые частоты.

19. *Принцип периодического действия* заключается в переходе от непрерывного действия к периодическому.

20. *Принцип непрерывности полезного действия* заключается в непрерывном ведении работы, устранении холостых и промежуточных ходов, переходов от возвратно-поступательного движения к вращательному.

21. *Принцип «проскока»* состоит в том, чтобы преодолевать отдельные, в том числе вредные и опасные, стадии процесса на повышенной скорости.

22. *Принцип «обратить вред на пользу»* использует вредные факторы для получения положительного эффекта; усиливает вредный фактор до такой степени, чтобы он перестал быть таковым; компенсирует один вредный фактор другим.

23. *Принцип обратной связи* говорит о необходимости ввести обратную связь, а если она уже есть – изменить ее.

24. *Принцип «посредника»* заключается в использовании промежуточного объекта-переносчика.

25. *Принцип самообслуживания* обращает внимание на то, что объект должен сам себя обслуживать, выполнять вспомогательные и ремонтные работы, использовать отходы вещества, энергии.

26. *Принцип копирования* указывает на то, что вместо недоступного дорогостоящего, неудобного или хрупкого объекта можно использовать его упрощенные и дешевые копии в измененном масштабе.

27. *Принцип замены «дорогой долговечности на дешевую недолговечность»* означает заменить дорогой объект набором дешевых объектов, поступившись при этом некоторыми качествами (долговечностью).

28. *Принцип замены механической схемы* подсказывает заменить механическую схему электрической, оптической, тепловой, акустической и использовать электрические, магнитные и электромагнитные поля.

29. *Принцип использования пневмо- и гидроконструкции* предлагает вместо твердых частей объекта использовать газообразные и жидкие, надувные и гидронаполняемые, воздушную подушку, гидростатические и гидрореактивные.

30. *Принцип использования гибких оболочек и тонких пленок* указывает на то, что вместо объемных жестких конструкций можно использовать гибкие оболочки, тонкие пленки и изолировать с их помощью объект от внешней среды.

31. *Принцип пористых материалов* предлагает сделать объект или его части пористыми и заполнить поры каким-нибудь веществом.

32. *Принцип изменения окраски* предусматривает изменение окраски или степени прозрачности объекта или внешней среды, использование красящих добавок, меченых атомов.

33. *Принцип однородности* предусматривает, что объекты, взаимодействующие с данными объектами, должны быть сделаны из одних и тех же материалов (или близких к ним по свойствам).

34. *Принцип отброса или регенерации частей.* Выполнившая свое назначение или ставшая ненужной часть объекта должна быть отброшена (растворена, испарена и т.д.) или видоизменена; расходуемые части должны восстанавливаться в ходе работы.

35. *Принцип изменения физико-химических параметров объекта* означает изменить агрегатное состояние объекта, химический состав, концентрацию, температуру, объем.

36. *Принцип использование фазовых переходов* предусматривает использовать изменения параметров, происходящие при фазовых переходах, изменение объема, выделение или поглощение тепла и т.д.

37. *Принцип использования термического расширения* предлагает использовать термическое расширение и сжатие материалов, применить материалы с разными коэффициентами термического расширения.

38. *Принцип использования сильных окислителей* заключается в замене обычного воздуха обогащенным, а обогащенного – кислородом.

39. *Принцип изменения степени инертности* подсказывает заменить обычную среду нейтральной, ввести в объект нейтральные части и добавки, ввести процесс в вакууме.

40. *Принцип использования композиционных материалов* состоит в переходе от однородных материалов к композиционным.

Изобретения высоких уровней получаются в результате использования нескольких приемов одновременно. Эвристические приемы могут образовывать комплексы и присоединять к себе физические и химические эффекты.

Темпы научно-технического прогресса, уровень разрабатываемых изделий и технологий, их качество и эффективность зависят от того, насколько широко и оперативно использует конструктор, механик, технолог знания из различных областей физики. Современный инженер, пройдя обучение в техническом вузе, получает информацию примерно о 150 физических эффектах и явлениях. В то же время в физике их уже сейчас известно порядка пяти тысяч. Большинство из этих физических эффектов может быть успешно использовано при создании нового технологического оборудования, новых технологических процессов, приборов и устройств для автоматического контроля и управления.

Физические эффекты и явления, законы и научные открытия – наиболее обобщенное выражение результатов познания. Именно они лежат в основе всех конкретных технических решений, формируя их ядро – принцип действия или идею решения. Объем знаний о них определяет потенциальную творческую мощь инженера.

Физический объект включает в себя широкий класс материальных тел - твердые, жидкие, газообразные вещества, их сочетания, а также элементарные частицы, ионы, молекулы, атомы и т.д. Если подвергнуть физический объект определенному воздействию, то имеет место физический эффект, т.е. результат такого воздействия.

К воздействиям относятся поля (электрическое, магнитное, гравитационное, тепловое и др.), а также различного рода изменения параметров объекта (например, влажности, температуры, скорости и т.д.). Результаты воздействия, т.е. собственно эффекты, могут быть также самыми разнообразными: изменение температуры, электрический ток, движение и т.д. Один и то же физический объект может порождать большое количество разнообразных, существенно отличающихся друг от друга технических решений.

Применение физических эффектов и явлений позволяет решать изобретательские задачи высокого уровня направленные на создание новой технологии и оборудования.

Качество и время решения инженерных задач определяются главным образом тем «инструментом», который для этой работы используется: чем более совершенен «инструмент», тем выше качество и тем меньше затраченное время. В этом деле компьютер с программным обеспечением оказывается вне всякой конкуренции, представляя универсальный по своим возможностям инструмент для творческой деятельности инженера.

Универсальность его состоит, прежде всего, в том, что, не меняя как таковое физическое устройство ЭВМ, ее аппаратуру, можно заставить компьютер выполнять самые различные функции. Такая переналадка этого инструмента выполняется путем разработки новых алгоритмов и про-

грамм. Для выполнения разных функций используется одно и то же физическое устройство – ЭВМ. Сменной является только программа.

РЕШЕНИЕ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ

Алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ) является основным рабочим инструментом теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) и представляет собой универсальную программу поиска новых технических решений.

АРИЗ непрерывно совершенствуется и развивается.

Ниже приведен один из последних вариантов алгоритма. Алгоритм включает девять блоков.

1. *Анализ задачи.* Осуществляется переход от изобретательской ситуации к модели задачи.

2. *Анализ модели задачи.* Обеспечивает учет имеющихся ресурсов, которые можно использовать при решении задачи: ресурсов пространства, времени, веществ и полей.

3. *Определение идеального конечного результата и физического противоречия.* Формулируется идеальное решение (ИКР) и определяется физическое противоречие (ФП).

4. *Мобилизация и применение вещественно-полевых ресурсов.* Осуществляются планомерные операции по увеличению ресурсов.

5. *Применение информационного фонда.*

6. *Изменение и (или) замена задачи.*

7. *Анализ способа устранения физического противоречия.* Осуществляется проверка качества получаемого ответа. Физическое противоречие должно быть устранено почти идеально. Лучше потратить дополнительное время на получение нового, более сильного, ответа, чем потом долго бороться за плохо внедряемую слабую идею.

8. *Применение полученного ответа.* Обеспечивается максимальное использование ресурсов найденной идеи, так как хорошая идея не только решает конкретную задачу, но и дает универсальный ключ ко многим другим аналогичным задачам.

9. *Анализ хода решения.* Обеспечивает повышение творческого потенциала инженера.

Важно не только найти решение, но и правильно его описать.

Основными документами, отражающими сущность нового технического решения, являются описание изобретения с формулой изобретения, а также соответствующие графические материалы (чертежи, схемы и др.).

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ РАБОТАМ, ВЫПОЛНЯЕМЫМ НА УРОВНЕ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА

1. Изучить литературные и патентные источники в соответствии с полученным заданием.
2. Ознакомиться с принципами инженерного творчества и выбрать методы, которые позволят ускорить решение задачи.
3. При необходимости, выполнить творческие, экспериментальные исследования, применить моделирование.
4. Систематизировать полученные результаты, сделать выводы, оформить отчет.
5. В случае решения инженерной задачи на уровне изобретения - оформить заявку на изобретение (с помощью преподавателя).
6. Написать научную статью, если техническое решение оригинально и предоставляет интерес для специалистов литейного производства.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ НА УРОВНЕ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА

1. Изучить патенты по газовой плавке чугуна и предложить учебную заявку на изобретение, связанное с совершенствованием способа плавки металла в газовой вагранке.
2. Рассмотреть известные конструкции теплообменников, рекуператоров и предложить более совершенную конструкцию рекуператора для газовой вагранки.
3. Систематизировать горелочные системы и выявить рациональную конструкцию газовой горелки для
   а) газовой вагранки;
   б) термической печи;
   в) сушильных печных агрегатов.
4. Решить проблему размораживания формовочного песка, подаваемого в литейные цеха зимой.
5. Предложить новую, эффективную конструкцию печи для сушки формовочного песка.
6. Разработать новую или усовершенствовать существующую систему автоматики газовой вагранки.
7. Повысить эффективность пылеочистных устройств, применяемых в литейном производстве.
8. Создать новый композиционный материал.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему сложные инженерные задачи в литейном производстве необходимо решать на уровне изобретений?
2. Как возникают проблемы при производстве отливок, и кто их должен решать?
3. С чего начинается изобретательская работа?
4. Какие методы моделирования применяются при техническом творчестве?
5. В чем заключается инженерное творчество, с чего оно начинается и чем заканчивается?
6. Как надо проводить исследования?
7. Почему необходимо проводить теоретическое исследование до выполнения экспериментальных работ?
8. Как разрабатывается методика исследования?
9. Зачем надо изучать литературу по техническому творчеству?
10. В чем заключается системный подход в инженерном творчестве?
11. Чем отличается научное творчество от технического творчества?
12. Каковы эвристические приемы технического творчества?

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Скирута М.А., Комиссаров О.Ю. Инженерное творчество в легкой промышленности. – М.: Легпромбытиздат, 1990. – 184 с.
2. Черный А.А. Планирование экспериментов и математическое моделирование процессов. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1977. – 80 с.
3. Черный А.А. Практика планирования экспериментов и математического моделирования процессов. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1984. – 103 с.
4. Черный А.А. Математическое моделирование применительно к литейному производству: Учебное пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 1998. – 121 с.
5. Разработка новых сплавов с использованием ЭВМ: Методические указания / Сост. А.А.Черный. – Пенза: Пенз. политехн. ин-т, 1990. – 28 с.
6. Веников В.А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики). Учебн. пособие для ВУЗов. 2-е изд., перераб., доп. – М.: Высш. школа, 1976. – 479 с.
7. Грачев В.А., Черный А.А. Современные мотоды плавки чугуна. - Саратов: Приволжское кн. изд-во, 1973. – 342 с.
8. Грачев В.А., Черный А.А. Методика моделирования вагранок и печных процессов на основе теории подобия: Учебн. пособие. – Пенза: ЦНТИ, 1998. – 29 с.
9. Грачев В.А. Теория и практика личного успеха. – М.: Современный гуманитарный университет, 2002. – 280 с.
10. Кедров Б.М. О творчестве в науке и технике: (Научно-популярные очерки для молодежи). – М.: Мол.гвардия, 1987. – 192с.
11. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества: Учеб. пособие для студентов втузов. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
12. Михелькевич В.Н., Радомский В.М. Основы научно-технического творчества/Серия «Высшее профессиональное образование». – Ростов н/Д: Феникс, 2004. - 320с.

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

ЭФФЕКТИВНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ, ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ И ИЗОБРЕТАТЕЛЬСТВА

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……28

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ.....29

ВЫЯВЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГРЕССИИ, АДЕКВАТНОСТИ И ТОЧНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ……117

АЛГОРИТМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ……..122

ПЛАНЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЭВМ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....122

ПРОГРАММА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ VL0 ДЛЯ СЛУЧАЕВ ПЛАНИРОВАНИЯ 2^1 (X=2), 2^2 (X=4), 2^3 (X=8), 2^4(X=1б),2^5(X=32).....131

ПРОГРАММА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ VN0 ДЛЯ СЛУЧАЕВ ПЛАНИРОВАНИЯ 3^1 (X=3), 4^1 (X=4), 5^1 (X=5), 3^2 (X=9), 3 • 4 (X=12), 3 • 5 (X=15), 4^2 (X=16), 4 • 5 (X=20), 5^2 (X=25), 3^3 (X=27).....141

ОБОЗНАЧЕНИЯ В КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММАХ НА ЯЗЫКЕ БЕЙСИК……157

ПРОГРАММЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ДОБАВЛЕНИЕМ ПОДПРОГРАММ СИСТЕМНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ……160

ПРОГРАММА NW5 НА ЯЗЫКЕ БЕЙСИК (планы 5^1, 5^2, X=5,

X=25)……160

ПРОГРАММА НА ЯЗЫКЕ ТУРБО ПАСКАЛЬ (три модуля,
планы 5^1, 5^2, X=5, X=25)……169

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ……191

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ
РАБОТЫ ПО МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ…….193
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ……194

ЛИТЕРАТЕРА……196

В В Е Д Е Н И Е

Компьютеризация производства способствует ускорению использования научных достижений. Литейное производство является одной из основных заготовительных баз машиностроения. Во всех отраслях машиностроения и приборостроения используются литые заготовки. Литьем получают заготовки практически любой конфигурации, с минимальными припусками на обработку, высокими служебными свойствами.

В производстве литых заготовок для деталей машин и приборов значительное место занимают специальные способы литья: по выплавляемым моделям, в керамические формы, в кокиль, под давлением, центробежное литье, электрошлаковое литье. Специальные виды литья позволяют получить отливки повышенной точности, с чистой поверхностью, минимальными припусками на обработку.

Прообразом современного процесса литья по выплавляемым моделям является литье по восковым моделям, известное в глубокой древности. В эпоху Возрождения великие художники, скульпторы, литейщики использовали восковые модели для отливки скульптур и украшений. Элементы восковых моделей применялись древними русскими мастерами при литье колоколов, пушек, ювелирных изделий. В дальнейшем развитие процесса изготовления отливок по выплавляемым моделям показало экономическую целесообразность его использования в машиностроении и приборостроении. Процесс получения отливок механизирован и автоматизирован, созданы автоматизированные литейные цехи по производству точных отливок.

Однако, несмотря на длительное развитие и совершенствование процессов литья и достигнутые успехи в литейном производстве существуют проблемы, которые необходимо решать: надо многие процессы оптимизи-

ровать, сделать дешевле, экологически чистыми, безопасными, привлекательными для молодых специалистов, более механизированными и автоматизированными. Необходимы в литейном производстве новые усовершенствования и изобретения.

Но процессы литейного производства зачастую сложны, на них влияет ряд неучтенных факторов. Поэтому для совершенствования литейного производства рационально применять моделирование.

Предлагаются оригинальные разработки математического моделирования при планировании экспериментов на двух и более уровнях факторов. Основы математического моделирования применительно к литейному производству частично изложены в работах автора [1, 2, 4 – 9] и в дальнейшем конкретизируются в новых работах.

В данной работе приводятся усовершенствованные программы математического моделирования и расчетов по математическим моделям. Программы проверены при использовании экспериментальных и практических данных исследованных процессов литейного производства. Они носят универсальный характер. Предлагаемые программы можно применять в различных областях науки и техники, для оптимизации, прогнозирования процессов, изобретательства.

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ

На основании анализа ортогональных методов планирования экспериментов разработана новая методика математического моделирования процессов, которая менее трудоемка, чем ранее предложенные, позволяет проще, при меньшем количестве опытов оптимизировать процессы, выявлять более точные математические модели при планировании экспериментов на пяти уровнях независимых переменных (факторов) или, в частных случаях, на четырех, трех, двух уровнях независимых переменных. Графически зависимость показателя процесса от одного фактора показана на рис. 1. Построения графика выполнены по пяти точкам (уровней фактора пять).

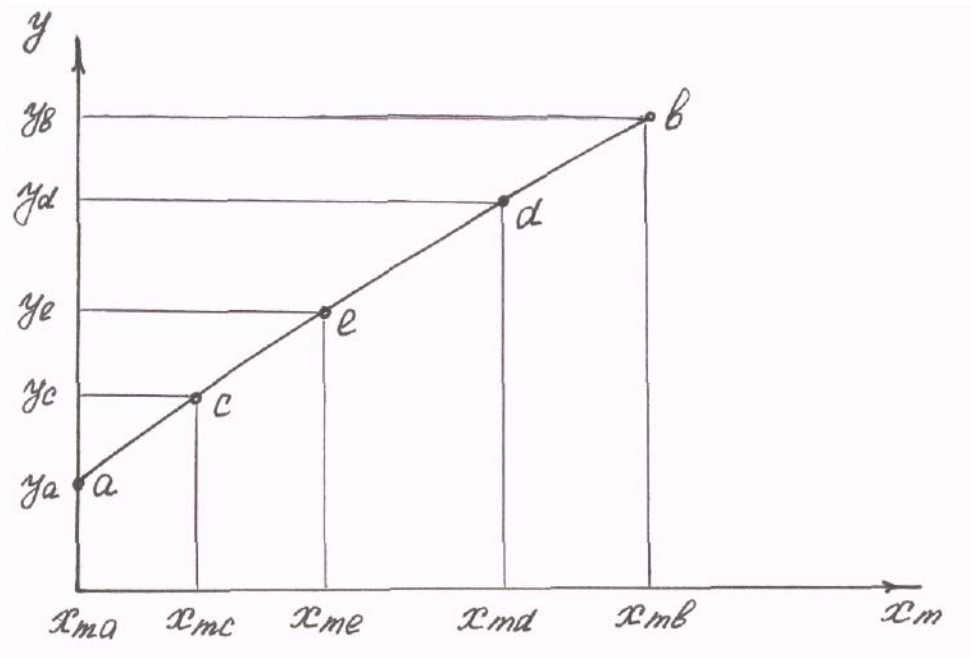


Рис. 1. Зависимость показателя от m –го фактора
(m – порядковый номер фактора)

В результате предварительного анализа для нелинейного математического моделирования процессов при ортогональном планировании однофакторных и многофакторных экспериментов на пяти уровнях независимых переменных предложено универсальное уравнение регрессии, в общем виде представляющее пятичлен

$$y = b'_o \cdot x_o + b_{mn} \cdot x_{mn} + b_{mr} \cdot x_{mr} + b_{ms} \cdot x_{ms} + b_{mw} \cdot x_{mw}\ ; \qquad (1)$$

в котором y – показатель (параметр) процесса; $x_o = +1$;

$$x_{mn} = x^n{}_m + v_m; \qquad x_{mr} = x^r{}_m + a_m x^n{}_m + c_m;$$

$$x_{ms} = x^s{}_m + d_m x^r{}_m + e_m x^n{}_m + f_m;$$

$$x_{mw} = x^w{}_m + q_m x^s{}_m + h_m x^r{}_m + \kappa_m x^n{}_m + l_m;$$

m – порядковый номер фактора; x_m-m –й фактор (независимое переменное); n, r, s, w – изменяемые числа показателей степени факторов; v_m, a_m, c_m, d_m, e_m, f_m, q_m, h_m, κ_m, l_m – коэффициенты ортогонализации; b'_o, b_{mn}, b_{mr}, b_{ms}, b_{mw} – коэффициенты регрессии.

Для каждой величины m –го фактора x_{ma}, x_{mb}, x_{mc}, x_{md}, x_{me} определяются соответственно параметры y_a, y_b, y_c, y_d, y_e.

В табл.1 представлена матрица планирования однофакторных экспериментов на пяти уровнях независимых переменных.

Таблица 1

Матрица планирования однофакторных экспериментов
на пяти уровнях независимых переменных

№	Уровни факторов	x_o	x_{mn}	x_{mr}	x_{ms}	x_{mw}	y
1	a	+1	$x_{mn,1}=x_{mna}$	$x_{mr,1}=x_{mra}$	$x_{ms,1}=x_{msa}$	$x_{mw,1}=x_{mwa}$	$y_1=y_a$
2	b	+1	$x_{mn,2}=x_{mnb}$	$x_{mr,2}=x_{mrb}$	$x_{ms,2}=x_{msb}$	$x_{mw,2}=x_{mwb}$	$y_2=y_b$
3	c	+1	$x_{mn,3}=x_{mnc}$	$x_{mr,3}=x_{mrc}$	$x_{ms,3}=x_{msc}$	$x_{mw,3}=x_{mwc}$	$y_3=y_c$
4	d	+1	$x_{mn,4}=x_{mnd}$	$x_{mr,4}=x_{mrd}$	$x_{ms,4}=x_{msd}$	$x_{mw,4}=x_{mwd}$	$y_4=y_d$
5	e	+1	$x_{mn,5}=x_{mne}$	$x_{mr,5}=x_{mre}$	$x_{ms,5}=x_{mse}$	$x_{mw,5}=x_{mwe}$	$y_5=y_e$

В матрице планирования экспериментов (табл.1):

$x_{mna} = x^n_{ma} + v_m$; $x_{mnb} = x^n_{mb} + v_m$;

$x_{mnc} = x^n_{mc} + v_m$; $x_{mnd} = x^n_{md} + v_m$;

$x_{mne} = x^n_{me} + v_m$; $x_{mra} = x^r_{ma} + a_m \cdot x^n_{ma} + c_m$;

$x_{mrb} = x^r_{mb} + a_m \cdot x^n_{mb} + c_m$; $x_{mrc} = x^r_{mc} + a_m \cdot x^n_{mc} + c_m$;

$x_{mrd} = x^r_{md} + a_m \cdot x^n_{md} + c_m$; $x_{mre} = x^r_{me} + a_m \cdot x^n_{me} + c_m$;

$x_{msa} = x^s_{ma} + d_m \cdot x^r_{ma} + e_m \cdot x^n_{ma} + f_m$;

$x_{msb} = x^s_{mb} + d_m \cdot x^r_{mb} + e_m \cdot x^n_{mb} + f_m$;

$x_{msc} = x^s_{mc} + d_m \cdot x^r_{mc} + e_m \cdot x^n_{mc} + f_m$;

$x_{msd} = x^s_{md} + d_m \cdot x^r_{md} + e_m \cdot x^n_{md} + f_m$;

$x_{mse} = x^s_{me} + d_m \cdot x^r_{me} + e_m \cdot x^n_{me} + f_m$;

$x_{mwa} = x^w_{ma} + g_m \cdot x^s_{ma} + h_m \cdot x^r_{ma} + k_m \cdot x^n_{ma} + l_m$;

$x_{mwb} = x^w_{mb} + g_m \cdot x^s_{mb} + h_m \cdot x^r_{mb} + k_m \cdot x^n_{mb} + l_m$;

$x_{mwc} = x^w_{mc} + g_m \cdot x^s_{mc} + h_m \cdot x^r_{mc} + k_m \cdot x^n_{mc} + l_m$;

$x_{mwd} = x^w_{md} + g_m \cdot x^s_{md} + h_m \cdot x^r_{md} + k_m \cdot x^n_{md} + l_m$;

$x_{mwe} = x^w_{me} + g_m \cdot x^s_{me} + h_m \cdot x^r_{me} + k_m \cdot x^n_{me} + l_m$.

Для сокращения дальнейших записей введены следующие обозначения средних арифметических величин:

$$\overline{x^n_m} = \frac{1}{N}\left(x^n_{ma} + x^n_{mb} + x^n_{mc} + x^n_{md} + x^n_{me}\right);$$

$$\overline{x^r_m} = \frac{1}{N}\left(x^r_{ma} + x^r_{mb} + x^r_{mc} + x^r_{md} + x^r_{me}\right);$$

$$\overline{x_m^s} = \frac{1}{N}\left(x_{ma}^s + x_{mb}^s + x_{mc}^s + x_{md}^s + x_{me}^s\right);$$

$$\overline{x_m^w} = \frac{1}{N}\left(x_{ma}^w + x_{mb}^w + x_{mc}^w + x_{md}^w + x_{me}^w\right);$$

$$\overline{x_m^{2n}} = \frac{1}{N}\left(x_{ma}^{2n} + x_{mb}^{2n} + x_{mc}^{2n} + x_{md}^{2n} + x_{me}^{2n}\right);$$

$$\overline{x_m^{2r}} = \frac{1}{N}\left(x_{ma}^{2r} + x_{mb}^{2r} + x_{mc}^{2r} + x_{md}^{2r} + x_{me}^{2r}\right);$$

$$\overline{x_m^{2s}} = \frac{1}{N}\left(x_{ma}^{2s} + x_{mb}^{2s} + x_{mc}^{2s} + x_{md}^{2s} + x_{me}^{2s}\right);$$

$$\overline{x_m^{n+r}} = \frac{1}{N}\left(x_{ma}^{n+r} + x_{mb}^{n+r} + x_{mc}^{n+r} + x_{md}^{n+r} + x_{me}^{n+r}\right);$$

$$\overline{x_m^{n+s}} = \frac{1}{N}\left(x_{ma}^{n+s} + x_{mb}^{n+s} + x_{mc}^{n+s} + x_{md}^{n+s} + x_{me}^{n+s}\right);$$

$$\overline{x_m^{n+w}} = \frac{1}{N}\left(x_{ma}^{n+w} + x_{mb}^{n+w} + x_{mc}^{n+w} + x_{md}^{n+w} + x_{me}^{n+w}\right);$$

$$\overline{x_m^{r+s}} = \frac{1}{N}\left(x_{ma}^{r+s} + x_{mb}^{r+s} + x_{mc}^{r+s} + x_{md}^{r+s} + x_{me}^{r+s}\right);$$

$$\overline{x_m^{r+w}} = \frac{1}{N}\left(x_{ma}^{r+w} + x_{mb}^{r+w} + x_{mc}^{r+w} + x_{md}^{r+w} + x_{me}^{r+w}\right);$$

$$\overline{x_m^{s+w}} = \frac{1}{N}\left(x_{ma}^{s+w} + x_{mb}^{s+w} + x_{mc}^{s+w} + x_{md}^{s+w} + x_{me}^{s+w}\right);$$

$$\overline{x_m} = \frac{1}{N}\left(x_{ma} + x_{mb} + x_{mc} + x_{md} + x_{me}\right);$$

Ортогональность матрицы планирования (см.табл.1) обеспечивается в том случае, если

$x_{mna} + x_{mnb} + x_{mne} + x_{mnd} + x_{mnc} = 0$,

$x_{mra} + x_{mrb} + x_{mre} + x_{mrd} + x_{mrc} = 0$,

$x_{msa} + x_{msb} + x_{mse} + x_{msd} + x_{msc} = 0$,

$x_{mwa} + x_{mwb} + x_{mwe} + x_{mwd} + x_{mwc} = 0$,

$x_{mna} \cdot x_{mra} + x_{mnb} \cdot x_{mrb} + x_{mnc} \cdot x_{mrc} + x_{mnd} \cdot x_{mrd} + x_{mne} \cdot x_{mre} = 0$.

$x_{mna} \cdot x_{msa} + x_{mnb} \cdot x_{msb} + x_{mnc} \cdot x_{msc} + x_{mnd} \cdot x_{msd} + x_{mne} \cdot x_{mse} = 0$.

$x_{mna} \cdot x_{mwa} + x_{mnb} \cdot x_{mwb} + x_{mnc} \cdot x_{mwc} + x_{mnd} \cdot x_{mwd} + x_{mne} \cdot x_{mwe} = 0$.

$$x_{mra} \cdot x_{msa} + x_{mrb} \cdot x_{msb} + x_{mrc} \cdot x_{msc} + x_{mrd} \cdot x_{msd} + x_{mre} \cdot x_{mse} = 0.$$

$$x_{mra} \cdot x_{mwa} + x_{mrb} \cdot x_{mwb} + x_{mrc} \cdot x_{mwc} + x_{mrd} \cdot x_{mwd} + x_{mre} \cdot x_{mwe} = 0.$$

$$x_{msa} \cdot x_{mwa} + x_{msb} \cdot x_{mwb} + x_{msc} \cdot x_{mwc} + x_{msd} \cdot x_{mwd} + x_{mse} \cdot x_{mwe} = 0.$$

После подстановки в уравнения системы значений слагаемых и сомножителей, замены получаемых сумм средними арифметическими величинами и сокращения одинаковых величин получается система из десяти уравнений, по которой определяются десять коэффициентов ортогонализации.

$$x^n_{ma} + v_m + x^n_{mb} + v_m + x^n_{mc} + v_m + x^n_{md} + v_m + x^n_{me} + v_m = 0;$$

$$5 \cdot v_m = -\left(x^n_{ma} + x^n_{mb} + x^n_{mc} + x^n_{md} + x^n_{me}\right);$$

$$v_m = -\frac{1}{5} \cdot \left(x^n_{ma} + x^n_{mb} + x^n_{mc} + x^n_{md} + x^n_{me}\right);$$

$$\boxed{v_m = -\overline{x^n_m}}.$$

$$x^r_{ma} + a_m \cdot x^n_{ma} + c_m + x^r_{mb} + a_m \cdot x^n_{mb} + c_m + x^r_{mc} + a_m \cdot x^n_{mc} +$$

$$+ c_m + x^r_{md} + a_m \cdot x^n_{md} + c_m + x^r_{me} + a_m \cdot x^n_{me} + c_m = 0;$$

$$\left(x^r_{ma} + x^r_{mb} + x^r_{mc} + x^r_{md} + x^r_{me}\right) +$$

$$+ a_m \cdot \left(x^n_{ma} + x^n_{mb} + x^n_{mc} + x^n_{md} + x^n_{me}\right) + 5 \cdot c_m = 0;$$

$$c_m = -\frac{1}{5} \cdot \left(x^r_{ma} + x^r_{mb} + x^r_{mc} + x^r_{md} + x^r_{me}\right) -$$

$$- a_m \cdot \frac{1}{5} \cdot \left(x^n_{ma} + x^n_{mb} + x^n_{mc} + x^n_{md} + x^n_{me}\right) =$$

$$= -\overline{x^r_m} - a_m \cdot \overline{x^n_m} = -\left(\overline{x^r_m} + a_m \cdot \overline{x^n_m}\right);$$

$$\boxed{c_m = -\left(\overline{x^r_m} + a_m \cdot \overline{x^n_m}\right)}.$$

$$x^s_{ma} + d_m \cdot x^r_{ma} + e_m \cdot x^n_{ma} + f_m + x^s_{mb} + d_m \cdot x^r_{mb} + e_m \cdot x^n_{mb} + f_m +$$

$$+x_{mc}^{s}+d_m\cdot x_{mc}^{r}+e_m\cdot x_{mc}^{n}+f_m+x_{md}^{s}+d_m\cdot x_{md}^{r}+e_m\cdot x_{md}^{n}+f_m+$$

$$+x_{me}^{s}+d_m\cdot x_{me}^{r}+e_m\cdot x_{me}^{n}+f_m=0;$$

$$\left(x_{ma}^{s}+x_{mb}^{s}+x_{mc}^{s}+x_{md}^{s}+x_{me}^{s}\right)+$$

$$+d_m\cdot\left(x_{ma}^{r}+x_{mb}^{r}+x_{mc}^{r}+x_{md}^{r}+x_{me}^{r}\right)+$$

$$+e_m\cdot\left(x_{ma}^{n}+x_{mb}^{n}+x_{mc}^{n}+x_{md}^{n}+x_{me}^{n}\right)+5\cdot f_m=0;$$

$$f_m=-\frac{1}{5}\cdot\left(x_{ma}^{s}+x_{mb}^{s}+x_{mc}^{s}+x_{md}^{s}+x_{me}^{s}\right)-$$

$$-d_m\cdot\frac{1}{5}\cdot\left(x_{ma}^{r}+x_{mb}^{r}+x_{mc}^{r}+x_{md}^{r}+x_{me}^{r}\right)-$$

$$-e_m\cdot\frac{1}{5}\cdot\left(x_{ma}^{n}+x_{mb}^{n}+x_{mc}^{n}+x_{md}^{n}+x_{me}^{n}\right)=$$

$$=-\overline{x_m^{s}}-d_m\cdot\overline{x_m^{r}}+e_m\cdot\overline{x_m^{n}}=-\left(\overline{x_m^{s}}+d_m\cdot\overline{x_m^{r}}+e_m\cdot\overline{x_m^{n}}\right);$$

$$\underline{\underline{f_m=-\left(\overline{x_m^{s}}+d_m\cdot\overline{x_m^{r}}+e_m\cdot\overline{x_m^{n}}\right)}}.$$

$$x_{ma}^{w}+g_m\cdot x_{ma}^{s}+h_m\cdot x_{ma}^{r}+k_m\cdot x_{ma}^{n}+l_m+$$

$$+x_{mb}^{w}+g_m\cdot x_{mb}^{s}+h_m\cdot x_{mb}^{r}+k_m\cdot x_{mb}^{n}+l_m+$$

$$+x_{mc}^{w}+g_m\cdot x_{mc}^{s}+h_m\cdot x_{mc}^{r}+k_m\cdot x_{mc}^{n}+l_m+$$

$$+x_{md}^{w}+g_m\cdot x_{md}^{s}+h_m\cdot x_{md}^{r}+k_m\cdot x_{md}^{n}+l_m+$$

$$+x_{me}^{w}+g_m\cdot x_{me}^{s}+h_m\cdot x_{me}^{r}+k_m\cdot x_{me}^{n}+l_m=0;$$

$$l_m=-\frac{1}{5}\cdot\left(x_{ma}^{w}+x_{mb}^{w}+x_{mc}^{w}+x_{md}^{w}+x_{me}^{s}\right)-$$

$$-g_m\cdot\frac{1}{5}\cdot\left(x_{ma}^{s}+x_{mb}^{s}+x_{mc}^{s}+x_{md}^{s}+x_{me}^{s}\right)-$$

$$-h_m\cdot\frac{1}{5}\cdot\left(x_{ma}^{r}+x_{mb}^{r}+x_{mc}^{r}+x_{md}^{r}+x_{me}^{r}\right)-$$

$$-k_m\cdot\frac{1}{5}\cdot\left(x_{ma}^{n}+x_{mb}^{n}+x_{mc}^{n}+x_{md}^{n}+x_{me}^{n}\right)=$$

$$=-\left(\overline{x_m^{w}}+g_m\cdot\overline{x_m^{s}}+h_m\cdot\overline{x_m^{r}}+k_m\cdot\overline{x_m^{n}}\right);$$

$$\underline{\underline{l_m=-\left(\overline{x_m^{w}}+g_m\cdot\overline{x_m^{s}}+h_m\cdot\overline{x_m^{r}}+k_m\cdot\overline{x_m^{n}}\right)}}.$$

$$\left(x_{ma}^{n}+v_m\right)\cdot\left(x_{ma}^{r}+a_m\cdot x_{ma}^{n}+c_m\right)+\ldots=0;$$

$$x_{ma}^{n+r}+a_m\cdot x_{ma}^{2\cdot n}+c_m\cdot x_{ma}^{n}+v_m\cdot x_{ma}^{r}+a_m\cdot v_m\cdot x_{ma}^{n}+$$

$$+c_m\cdot v_m+\ldots=0;$$

$$x_{ma}^{n+r}+a_m\cdot x_{ma}^{2\cdot n}+c_m\cdot x_{ma}^{n}+v_m\cdot x_{ma}^{r}+a_m\cdot v_m\cdot x_{ma}^{n}+c_m\cdot v_m+$$

$$+x_{mb}^{n+r}+a_m\cdot x_{mb}^{2\cdot n}+c_m\cdot x_{mb}^{n}+v_m\cdot x_{mb}^{r}+a_m\cdot v_m\cdot x_{mb}^{n}+c_m\cdot v_m+$$

$$+x_{mc}^{n+r}+a_m\cdot x_{mc}^{2\cdot n}+c_m\cdot x_{mc}^{n}+v_m\cdot x_{mc}^{r}+a_m\cdot v_m\cdot x_{mc}^{n}+c_m\cdot v_m+$$

$$+x_{md}^{n+r}+a_m\cdot x_{md}^{2\cdot n}+c_m\cdot x_{md}^{n}+v_m\cdot x_{md}^{r}+a_m\cdot v_m\cdot x_{md}^{n}+c_m\cdot v_m+$$

$$+x_{me}^{n+r}+a_m\cdot x_{me}^{2\cdot n}+c_m\cdot x_{me}^{n}+v_m\cdot x_{me}^{r}+a_m\cdot v_m\cdot x_{me}^{n}+c_m\cdot v_m=0;$$

$$\frac{1}{5}\cdot\left(x_{ma}^{n+r}+x_{mb}^{n+r}+x_{mc}^{n+r}+x_{md}^{n+r}+x_{me}^{n+r}\right)+$$

$$+a_m\cdot\frac{1}{5}\cdot\left(x_{ma}^{2\cdot n}+x_{mb}^{2\cdot n}+x_{mc}^{2\cdot n}+x_{md}^{2\cdot n}+x_{me}^{2\cdot n}\right)+$$

$$+c_m\cdot\frac{1}{5}\cdot\left(x_{ma}^{n}+x_{mb}^{n}+x_{mc}^{n}+x_{md}^{n}+x_{me}^{n}\right)+$$

$$+v_m\cdot\frac{1}{5}\cdot\left(x_{ma}^{r}+x_{mb}^{r}+x_{mc}^{r}+x_{md}^{r}+x_{me}^{r}\right)+$$

$$+a_m\cdot v_m\cdot\frac{1}{5}\cdot\left(x_{ma}^{n}+x_{mb}^{n}+x_{mc}^{n}+x_{md}^{n}+x_{me}^{n}\right)+c_m\cdot v_m=0;$$

$$\overline{x_m^{n+r}}+a_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot n}}+c_m\cdot\overline{x_m^{n}}+v_m\cdot\overline{x_m^{r}}+a_m\cdot v_m\cdot\overline{x_m^{n}}+$$

$$+c_m\cdot v_m=0;$$

$$v_m = -\overline{x_m^n};$$

$$\overline{x_m^{n+r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{2n}} + \underline{c_m \cdot \overline{x_m^n}} + v_m \cdot \overline{x_m^r} + a_m \cdot v_m \cdot \overline{x_m^n} +$$

$$+ \underline{c_m \cdot (-\overline{x_m^n})} = 0;$$

$$a_m \cdot \left(\overline{x_m^{2n}} - \left(\overline{x_m^n}\right)^2\right) = \overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}};$$

$$\boxed{a_m = \frac{\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}}}{\overline{x_m^{2n}} - \left(\overline{x_m^n}\right)^2}}.$$

$$\left(x_{ma}^n + v_m\right) \cdot \left(x_{ma}^s + d_m \cdot x_{ma}^r + e_m \cdot x_{ma}^n + f_m\right) + \ldots = 0;$$

$$x_{ma}^{n+s} + d_m \cdot x_{ma}^{n+r} + e_m \cdot x_{ma}^{2n} + f_m \cdot x_{ma}^n +$$

$$+ v_m \cdot x_{ma}^s + d_m \cdot v_m \cdot x_{ma}^r + e_m \cdot v_m \cdot x_{ma}^n + v_m \cdot f_m + \ldots = 0;$$

$$\overline{x_m^{n+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + e_m \cdot \overline{x_m^{2n}} + f_m \cdot \overline{x_m^n} +$$

$$+ v_m \cdot \overline{x_m^s} + d_m \cdot v_m \cdot \overline{x_m^r} + e_m \cdot v_m \cdot \overline{x_m^n} + v_m \cdot f_m = 0;$$

$$v_m = -\overline{x_m^n};$$

$$\overline{x_m^{n+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + e_m \cdot \overline{x_m^{2n}} + \underline{f_m \cdot \overline{x_m^n}} +$$

$$+ v_m \cdot \overline{x_m^s} + d_m \cdot v_m \cdot \overline{x_m^r} + e_m \cdot v_m \cdot \overline{x_m^n} + \underline{\left(-\overline{x_m^n}\right) \cdot f_m} = 0;$$

$$e_m \cdot \left(\overline{x_m^{2n}} - \left(\overline{x_m^n}\right)^2\right) = d_m \cdot \left(\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}}\right) +$$

$$+ \overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{n+s}};$$

$$e_m = d_m \cdot \frac{\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}}}{\overline{x_m^{2n}} - \left(\overline{x_m^n}\right)^2} + \frac{\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{n+s}}}{\overline{x_m^{2n}} - \left(\overline{x_m^n}\right)^2};$$

$$a_m = \frac{\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}}}{\overline{x_m^{2n}} - \left(\overline{x_m^n}\right)^2}; \qquad \underline{\boxed{b_m = \frac{\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{n+s}}}{\overline{x_m^{2n}} - \left(\overline{x_m^n}\right)^2}}};$$

$$\underline{\boxed{e_m = d_m \cdot a_m + b_m}}.$$

$$(x_{ma}^{n}+v_m)\cdot(x_{ma}^{w}+g_m x_{ma}^{s}+h_m\cdot x_{ma}^{r}+k_m x_{ma}^{h}+l_m)+\ldots=0;$$

$$x_{ma}^{h+w}+g_m\cdot x_{ma}^{h+s}+h_m x_{ma}^{h+r}+k_m\cdot x_{ma}^{2\cdot h}+l_m\cdot x_{ma}^{n}+v_m\cdot x_{ma}^{w}+$$

$$+v_m g_m\cdot x_{ma}^{s}+v_m\cdot h_m\cdot x_{ma}^{r}+v_m\cdot k_m\cdot x_{ma}^{h}+v_m\cdot l_m+\ldots=0;$$

$$\overline{x_m^{h+w}}+g_m\cdot\overline{x_m^{h+s}}+h_m\cdot\overline{x_m^{h+r}}+k_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot h}}+l_m\cdot\overline{x_m^{n}}+v_m\cdot\overline{x_m^{w}}+$$

$$+v_m g_m\cdot\overline{x_m^{s}}+v_m\cdot h_m\cdot\overline{x_m^{r}}+v_m\cdot k_m\cdot\overline{x_m^{h}}+v_m\cdot l_m=0;$$

$$v_m=-\overline{x_m^{h}};$$

$$\overline{x_m^{h+w}}+g_m\cdot\overline{x_m^{h+s}}+h_m\cdot\overline{x_m^{h+r}}+k_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot h}}+\underline{l_m\cdot\overline{x_m^{n}}}+\left(-\overline{x_m^{n}}\right)\cdot x_m^{w}+$$

$$+\left(-\overline{x_m^{n}}\right)\cdot g_m\cdot\overline{x_m^{s}}+\left(-\overline{x_m^{n}}\right)\cdot h_m\cdot\overline{x_m^{r}}+\left(-\overline{x_m^{n}}\right)\cdot k_m\cdot\overline{x_m^{h}}+\underline{\left(-\overline{x_m^{n}}\right)\cdot l_m}=0;$$

$$k_m\cdot\left(\overline{x_m^{2\cdot h}}-\left(\overline{x_m^{h}}\right)^2\right)=g_m\cdot\left(\overline{x_m^{n}}\cdot\overline{x_m^{s}}-\overline{x_m^{h+s}}\right)+$$

$$+h_m\cdot\left(\overline{x_m^{n}}\cdot\overline{x_m^{r}}-\overline{x_m^{n+r}}\right)+\overline{x_m^{n}}\cdot\overline{x_m^{w}}-\overline{x_m^{n+w}};$$

$$k_m=g_m\cdot\frac{\overline{x_m^{n}}\cdot\overline{x_m^{s}}-\overline{x_m^{n+s}}}{\overline{x_m^{2\cdot h}}-\left(\overline{x_m^{n}}\right)^2}+h_m\cdot\frac{\overline{x_m^{n}}\cdot\overline{x_m^{r}}-\overline{x_m^{n+r}}}{\overline{x_m^{2\cdot h}}-\left(\overline{x_m^{n}}\right)^2}+$$

$$+\frac{\overline{x_m^{n}}\cdot\overline{x_m^{w}}-\overline{x_m^{n+w}}}{\overline{x_m^{2\cdot h}}-\left(\overline{x_m^{n}}\right)^2};\qquad p_m=\frac{\overline{x_m^{n}}\cdot\overline{x_m^{s}}-\overline{x_m^{n+s}}}{\overline{x_m^{2\cdot h}}-\left(\overline{x_m^{n}}\right)^2};$$

$$a_m=\frac{\overline{x_m^{n}}\cdot\overline{x_m^{r}}-\overline{x_m^{n+r}}}{\overline{x_m^{2\cdot h}}-\left(\overline{x_m^{n}}\right)^2};\qquad \underline{z_m=\frac{\overline{x_m^{n}}\cdot\overline{x_m^{w}}-\overline{x_m^{n+w}}}{\overline{x_m^{2\cdot h}}-\left(\overline{x_m^{n}}\right)^2};}$$

$$\underline{k_m=g_m\cdot p_m+h_m\cdot a_m+z_m}.$$

$$\left(x_{ma}^{r}+a_m\cdot x_{ma}^{n}+c_m\right)\cdot\left(x_{ma}^{s}+d_m\cdot x_{ma}^{r}+e_m\cdot x_{ma}^{n}+f_m\right)+\ldots=0;$$

$$x_{ma}^{r+s}+d_m\cdot x_{ma}^{2\cdot r}+e_m\cdot x_{ma}^{n+r}+f_m\cdot x_{ma}^{r}+a_m\cdot x_{ma}^{n+s}+$$

$$+a_m\cdot d_m\cdot x_{ma}^{n+r}+a_m\cdot e_m\cdot x_{ma}^{2\cdot n}+a_m\cdot f_m\cdot x_{ma}^{n}+c_m\cdot x_{ma}^{s}+$$

$$+c_m\cdot d_m\cdot x_{ma}^{r}+e_m\cdot c_m\cdot x_{ma}^{n}+c_m\cdot f_m+\ldots=0;$$

$$\overline{x_m^{r+s}}+d_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot r}}+e_m\cdot\overline{x_m^{n+r}}+f_m\cdot\overline{x_m^{r}}+a_m\cdot\overline{x_m^{n+s}}+$$

$$+a_m\cdot d_m\cdot\overline{x_m^{n+r}}+a_m\cdot e_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot n}}+a_m\cdot f_m\cdot\overline{x_m^{n}}+c_m\cdot\overline{x_m^{s}}+$$

$$+c_m\cdot d_m\cdot\overline{x_m^{r}}+e_m\cdot c_m\cdot\overline{x_m^{n}}+c_m\cdot f_m=0;$$

$$f_m=-\left(\overline{x_m^{s}}+d_m\cdot\overline{x_m^{r}}+e_m\cdot\overline{x_m^{n}}\right);\quad e_m=d_m\cdot a_m+p_m;$$

$$\overline{x_m^{r+s}}+d_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot r}}+e_m\cdot\overline{x_m^{n+r}}+f_m\cdot\overline{x_m^{r}}+a_m\cdot\overline{x_m^{n+s}}+$$

$$+a_m\cdot d_m\cdot\overline{x_m^{n+r}}+a_m\cdot e_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot n}}+a_m\cdot f_m\cdot\overline{x_m^{n}}+\underline{c_m\cdot\overline{x_m^{s}}}+$$

$$+\underline{c_m\cdot d_m\cdot\overline{x_m^{r}}}+\underline{e_m\cdot c_m\cdot\overline{x_m^{n}}}-\underline{c_m\cdot\overline{x_m^{s}}}-\underline{c_m\cdot d_m\cdot\overline{x_m^{r}}}-$$

$$-\underline{c_m\cdot e_m\cdot\overline{x_m^{n}}}=\overline{x_m^{r+s}}+d_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot r}}+d_m\cdot a_m\cdot\overline{x_m^{n+r}}+p_m\cdot\overline{x_m^{n+r}}+$$

$$-\overline{x_m^{s}}\cdot\overline{x_m^{r}}-d_m\cdot\left(\overline{x_m^{r}}\right)^2-\overline{x_m^{n}}\cdot\overline{x_m^{r}}\cdot d_m\cdot a_m-\overline{x_m^{n}}\cdot\overline{x_m^{r}}\cdot p_m+$$

$$+a_m\cdot\overline{x_m^{n+s}}+a_m\cdot d_m\cdot\overline{x_m^{n+r}}+d_m\cdot a_m^2\cdot\overline{x_m^{2\cdot n}}+b_m\cdot a_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot n}}-$$

$$-a_m\cdot\overline{x_m^s}\cdot\overline{x_m^n}-d_m\cdot a_m\cdot\overline{x_m^n}\cdot\overline{x_m^r}-d_m\cdot a_m^2\left(\overline{x_m^n}\right)^2-$$

$$-b_m\cdot a_m\cdot\left(\overline{x_m^n}\right)^2=0;$$

$$d_m\cdot\left(\overline{x_m^{2\cdot r}}-\left(\overline{x_m^r}\right)^2+2\cdot a_m\left(\overline{x_m^{n+r}}-\overline{x_m^n}\cdot\overline{x_m^r}\right)+\right.$$

$$\left.+a^2\cdot\left(\overline{x_m^{2\cdot n}}-\left(\overline{x_m^n}\right)^2\right)\right)=\overline{x_m^s}\cdot\overline{x_m^r}+b_m\cdot\left(\overline{x_m^n}\cdot\overline{x_m^r}-\overline{x_m^{n+r}}\right)+$$

$$+a\cdot\left(\overline{x_m^s}\cdot\overline{x_m^n}-\overline{x_m^{n+s}}\right)+a_m\cdot b_m\cdot\left(\left(\overline{x_m^n}\right)^2-\overline{x_m^{2\cdot n}}\right);$$

$$t_{m1}=\overline{x_m^r}\cdot\overline{x_m^s}-\overline{x_m^{r+s}}+b_m\cdot\left(\overline{x_m^n}\cdot\overline{x_m^r}-\overline{x_m^{n+r}}\right);$$

$$t_{m2}=a_m\cdot\left(\overline{x_m^n}\cdot\overline{x_m^s}-\overline{x_m^{n+s}}\right)+a_m\cdot b_m\cdot\left(\left(\overline{x_m^n}\right)^2-\overline{x_m^{2\cdot n}}\right);$$

$$t_{m3}=\overline{x_m^{2\cdot r}}-\left(\overline{x_m^r}\right)^2+2\cdot a_m\cdot\left(\overline{x_m^{n+r}}-\overline{x_m^n}\cdot\overline{x_m^r}\right);$$

$$\boxed{d_m=\frac{t_{m1}+t_{m2}}{t_{m3}+a_m^2\cdot\left(\overline{x_m^{2\cdot n}}-\left(\overline{x_m^n}\right)^2\right)}};$$

$$\left(x_{ma}^r+a_m\cdot x_{ma}^n+c_m\right)\cdot\left(x_{ma}^w+g_m\cdot x_{ma}^s+h_m\cdot x_{ma}^r+\right.$$

$$\left.+K_m\cdot x_{ma}^n+\ell_m\right)+\ldots=0;$$

$$x_{ma}^{r+w}+g_m\cdot x_{ma}^{r+s}+h_m\cdot x_{ma}^{2\cdot r}+K_m\cdot x_{ma}^{n+r}+\ell_m\cdot x_{ma}^r+$$

$$+a_m\cdot l_m\cdot x_{ma}^{n}+c_m\cdot x_{ma}^{w}+c_m\cdot g_m\cdot x_{ma}^{s}+c_m\cdot h_m\cdot x_{ma}^{r}+$$

$$+c_m\cdot k_m\cdot x_{ma}^{n}+c_m l_m+\ldots=0;$$

$$\overline{x_m^{r+w}}+g_m\cdot\overline{x_m^{r+s}}+h_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot r}}+k_m\cdot\overline{x_m^{n+r}}+l_m\cdot\overline{x_m^{r}}+$$

$$+a_m\cdot\overline{x_m^{n+w}}+a_m\cdot g_m\cdot\overline{x_m^{n+s}}+a_m\cdot h_m\cdot\overline{x_m^{n+r}}+a_m\cdot k_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot n}}+$$

$$+a_m\cdot l_m\cdot\overline{x_m^{n}}+c_m\cdot\overline{x_m^{w}}+c_m\cdot g_m\cdot\overline{x_m^{s}}+c_m\cdot h_m\cdot\overline{x_m^{r}}+$$

$$+c_m\cdot k_m\cdot\overline{x_m^{n}}+c_m\cdot l_m=\overline{x_m^{r+w}}+g_m\cdot\overline{x_m^{r+s}}+h_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot r}}+$$

$$+k_m\cdot\overline{x_m^{n+r}}+l_m\cdot\overline{x_m^{r}}+a_m\cdot\overline{x_m^{n+w}}+a_m\cdot g_m\cdot\overline{x_m^{n+s}}+$$

$$+a_m\cdot h_m\cdot\overline{x_m^{n+r}}+a_m\cdot k_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot n}}+a_m\cdot l_m\cdot\overline{x_m^{n}}+\underline{c_m\cdot\overline{x_m^{w}}}+$$

$$+\underline{c_m\cdot g_m\cdot\overline{x_m^{s}}}+\underline{c_m\cdot h_m\cdot\overline{x_m^{r}}}+\underline{c_m\cdot k_m\cdot\overline{x_m^{n}}}-\underline{c_m\cdot\overline{x_m^{w}}}-$$

$$-\underline{c_m\cdot g_m\cdot\overline{x_m^{s}}}-\underline{c_m\cdot h_m\cdot\overline{x_m^{r}}}-\underline{c_m\cdot k_m\cdot\overline{x_m^{n}}}=0;$$

$$l_m=-\left(\overline{x_m^{w}}+g_m\cdot\overline{x_m^{s}}+h_m\cdot\overline{x_m^{r}}+\right.$$

$$\left.+k_m\cdot\overline{x_m^{n}}\right);$$

$$h_m\cdot\left(\overline{x_m^{2\cdot r}}+a_m\cdot\overline{x_m^{n+r}}\right)=-g_m\cdot\left(\overline{x_m^{r+s}}+a_m\cdot\overline{x_m^{n+s}}\right)-$$

$$-k_m\cdot\left(\overline{x_m^{n+r}}+a_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot n}}\right)-l_m\cdot\left(\overline{x_m^{r}}+a_m\cdot\overline{x_m^{n}}\right)-$$

$$-\left(\overline{x_m^{r+w}}+a_m\cdot\overline{x_m^{n+w}}\right);\quad \boxed{t_{m4}=\overline{x_m^{r}}+a_m\cdot\overline{x_m^{n}};}$$

$$h_m \cdot \left(\overline{x_m^{2r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{n+r}}\right) = -g_m \cdot \left(\overline{x_m^{r+s}} + a_m \cdot \overline{x_m^{n+s}}\right) -$$

$$-k_m \cdot \left(\overline{x_m^{n+r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{2n}}\right) + t_{m4} \cdot \overline{x_m^{w}} + t_{m4} \cdot g_m \cdot \overline{x_m^{s}} +$$

$$+ t_{m4} \cdot h_m \cdot \overline{x_m^{r}} + t_{m4} \cdot k_m \cdot \overline{x_m^{n}} - \overline{x_m^{r+w}} - a_m \cdot \overline{x_m^{n+w}};$$

$$h_m \cdot \left(\overline{x_m^{2r}} + a_m \cdot \overline{x^{n+r}} - t_{m4} \cdot \overline{x_m^{r}}\right) =$$

$$= g_m \cdot \left(t_{m4} \cdot \overline{x_m^{s}} - \overline{x_m^{r+s}} - a_m \cdot \overline{x_m^{n+s}}\right) +$$

$$+ k_m \cdot \left(t_{m4} \cdot \overline{x_m^{n}} - \overline{x_m^{n+r}} - a_m \cdot \overline{x_m^{2n}}\right) +$$

$$+ t_{m4} \cdot \overline{x_m^{w}} - \overline{x_m^{r+w}} - a_m \cdot \overline{x_m^{n+w}}$$

$$\boxed{t_{m5} = t_{m4} \cdot x_m^{n} - x_m^{n+r} - a_m \cdot x_m^{2n}};$$

$$k_m = g_m \cdot p_m + h_m \cdot a_m + z_m;$$

$$h_m \cdot \left(\overline{x_m^{2r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} - t_{m4} \cdot \overline{x_m^{r}}\right) =$$

$$= g_m \cdot \left(t_{m4} \cdot \overline{x_m^{s}} - \overline{x_m^{r+s}} - a_m \cdot \overline{x_m^{n+s}}\right) + t_{m5} \cdot g_m \cdot p_m +$$

$$+ t_{m5} \cdot h_m \cdot a_m + t_{m5} \cdot z_m + t_{m4} \cdot \overline{x_m^{w}} - \overline{x_m^{r+w}} - a_m \cdot \overline{x_m^{n+w}};$$

$$h_m \cdot \left(\overline{x_m^{2r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} - t_{m4} \cdot \overline{x_m^{r}} - t_{m5} \cdot a_m\right) =$$

$$= g_m \cdot \left(t_{m4} \cdot \overline{x_m^{s}} + t_{m5} \cdot p_m - \overline{x_m^{r+s}} - a_m \cdot \overline{x_m^{n+s}}\right) +$$

$$+ t_{m5} \cdot z_m + t_{m4} \cdot \overline{x_m^{w}} - \overline{x_m^{r+w}} - a_m \cdot \overline{x_m^{n+w}};$$

$$t_{m6} = \overline{x_m^{2r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} - t_{m4} \cdot \overline{x_m^{r}} - t_{m5} \cdot a_m;$$

$$t_{m7} = t_{m4} \cdot \overline{x_m^{s}} + t_{m5} \cdot b_m - \overline{x_m^{r+s}} - a_m \cdot \overline{x_m^{n+s}};$$

$$t_{m8} = t_{m5} \cdot z_m + t_{m4} \cdot \overline{x_m^{w}} - \overline{x_m^{r+w}} - a_m \cdot \overline{x_m^{n+w}};$$

$$h_m = \frac{g_m \cdot t_{m7} + t_{m8}}{t_{m6}}.$$

$$\left(x_{ma}^{s} + d_m \cdot x_{ma}^{r} + e_m \cdot x_{ma}^{n} + f_m\right) \cdot \left(x_{ma}^{w} + g_m \cdot x_{ma}^{s} + h_m \cdot x_{ma}^{r} + k_m \cdot x_{ma}^{n} + l_m\right) + \ldots = 0;$$

$$x_{ma}^{s+w} + g_m \cdot x_{ma}^{2s} + h_m \cdot x_{ma}^{r+s} + k_m \cdot x_{ma}^{n+s} + l_m \cdot x_{ma}^{s} + d_m \cdot x_{ma}^{r+w} + d_m \cdot g_m \cdot x_{ma}^{r+s} + d_m \cdot h_m \cdot x_{ma}^{2r} + d_m \cdot k_m \cdot x_{ma}^{n+r} + d_m \cdot l_m \cdot x_{ma}^{r} + e_m \cdot x_{ma}^{n+w} + e_m \cdot g_m \cdot x_{ma}^{n+s} + e_m \cdot h_m \cdot x_{ma}^{n+r} + e_m \cdot k_m \cdot x_{ma}^{2n} + e_m \cdot l_m \cdot x_{ma}^{n} + f_m \cdot x_{ma}^{w} + f_m \cdot g_m \cdot x_{ma}^{s} + f_m \cdot h_m \cdot x_{ma}^{r} + f_m \cdot k_m \cdot x_{ma}^{n} + f_m \cdot l_m + \ldots = 0;$$

$$\overline{x_m^{s+w}} + g_m \cdot \overline{x_m^{2s}} + h_m \cdot \overline{x_m^{r+s}} + k_m \cdot \overline{x_m^{n+s}} + l_m \cdot \overline{x_m^{s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{r+w}} - d_m \cdot g_m \cdot \overline{x_m^{r+s}} + d_m \cdot h_m \cdot \overline{x_m^{2r}} + d_m \cdot k_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} +$$

$$+d_m\cdot l_m\cdot\overline{x_m^{r}}+e_m\cdot\overline{x_m^{n+w}}+e_m\cdot g_m\cdot\overline{x_m^{n+s}}+e_m\cdot h_m\cdot\overline{x_m^{n+r}}+$$

$$+e_m\cdot k_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot n}}+e_m\cdot l_m\cdot\overline{x_m^{n}}+f_m\cdot\overline{x_m^{w}}+f_m\cdot g_m\cdot\overline{x_m^{s}}+$$

$$+f_m\cdot h_m\cdot\overline{x_m^{r}}+f_m\cdot k_m\cdot\overline{x_m^{n}}+f_m\cdot l_m=d_m\cdot\overline{x_m^{r+w}}+$$

$$+d_m\cdot g_m\cdot\overline{x_m^{r+s}}+d_m\cdot h_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot r}}+d_m\cdot k_m\cdot\overline{x_m^{n+r}}+$$

$$+d_m\cdot l_m\cdot\overline{x_m^{r}}+e_m\cdot\overline{x_m^{n+w}}+e_m\cdot g_m\cdot\overline{x_m^{n+s}}+e_m\cdot h_m\cdot\overline{x_m^{n+r}}+$$

$$+e_m\cdot k_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot n}}+e_m\cdot l_m\cdot\overline{x_m^{n}}+\underline{f_m\cdot\overline{x_m^{w}}}+\underline{f_m\cdot g_m\cdot\overline{x_m^{s}}}+$$

$$+\underline{f_m\cdot h_m\cdot\overline{x_m^{r}}}+\underline{f_m\cdot k_m\cdot\overline{x_m^{n}}}-\underline{f_m\cdot\overline{x_m^{w}}}-\underline{f_m\cdot g_m\cdot\overline{x_m^{s}}}-$$

$$-\underline{f_m\cdot h_m\cdot\overline{x_m^{r}}}-\underline{f_m\cdot k_m\cdot\overline{x_m^{n}}}=0;$$

$$g_m\cdot\left(\overline{x_m^{2\cdot s}}+d_m\cdot\overline{x_m^{r+s}}+e_m\cdot\overline{x_m^{n+s}}\right)=$$

$$=-h_m\cdot\left(\overline{x_m^{r+s}}+d_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot r}}+e_m\cdot\overline{x_m^{n+r}}\right)-$$

$$-k_m\cdot\left(\overline{x_m^{n+s}}+d_m\cdot\overline{x_m^{n+r}}+e_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot n}}\right)-$$

$$-l_m\cdot\left(\overline{x_m^{s}}+d_m\cdot\overline{x_m^{r}}+e_m\cdot\overline{x_m^{n}}\right)-$$

$$-\left(\overline{x_m^{s+w}}+d_m\cdot\overline{x_m^{r+w}}+e_m\cdot\overline{x_m^{n+w}}\right);$$

$$\underline{t_{m9}=\overline{x_m^{2\cdot s}}+d_m\cdot\overline{x_m^{r+s}}+e_m\cdot\overline{x_m^{n+s}};}$$

$$\underline{t_{m10}=\overline{x_m^{r+s}}+d_m\cdot\overline{x_m^{2r}}+e_m\cdot\overline{x_m^{n+r}};}$$

$$t_{m11}=\overline{x_m^{n+s}}+d_m\cdot\overline{x_m^{n+r}}+e_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot n}};$$

$$t_{m12}=\overline{x_m^{s}}+d_m\cdot\overline{x_m^{r}}+e_m\cdot\overline{x_m^{n}};$$

$$\underline{t_{m13}=\overline{x_m^{s+w}}+d_m\cdot\overline{x_m^{r+w}}+e_m\cdot\overline{x_m^{n+w}};}$$

$$g_m \cdot t_{m9} = -h_m \cdot t_{m10} - K_m \cdot t_{m11} - l_m \cdot t_{m12} - t_{m13};$$

$$g_m \cdot t_{m9} = -h_m \cdot t_{m10} - K_m \cdot t_{m11} + t_{m12} \cdot \overline{x_m^w} +$$

$$+ g_m \cdot t_{m12} \cdot \overline{x_m^s} + h_m \cdot t_{m12} \cdot \overline{x_m^r} + K_m \cdot t_{m12} \cdot \overline{x_m^n} - t_{m13};$$

$$g_m \cdot (t_{m9} - t_{m12} \cdot \overline{x_m^s}) = h_m \cdot (t_{m12} \cdot \overline{x_m^r} - t_{m10}) +$$

$$+ K_m \cdot (t_{m12} \cdot \overline{x_m^n} - t_{m11}) + t_{m12} \cdot \overline{x_m^w} - t_{m13};$$

$$\boxed{t_{m14} = t_{m12} \cdot x_m^n - t_{m11};}$$

$$g_m \cdot (t_{m9} - t_{m12} \cdot \overline{x_m^s}) = h_m \cdot (t_{m12} \cdot \overline{x_m^r} - t_{m10}) +$$

$$+ g_m \cdot t_{m14} \cdot p_m + h_m \cdot t_{m14} \cdot a_m + t_{m14} \cdot z_m +$$

$$+ t_{m12} \cdot \overline{x_m^w} - t_{m13};$$

$$g_m \cdot (t_{m9} - t_{m12} \cdot \overline{x_m^s} - t_{m14} \cdot p_m) = h_m \cdot (t_{m12} \cdot \overline{x_m^r} - t_{m10} +$$

$$+ t_{m14} \cdot a_m) + t_{m14} \cdot z_m + t_{m12} \cdot \overline{x_m^w} - t_{m13};$$

$$\boxed{t_{m15} = t_{m9} - t_{m12} \cdot \overline{x_m^s} - t_{m14} \cdot p_m;}$$

$$\boxed{\begin{aligned} t_{m16} &= t_{m12} \cdot \overline{x_m^r} - t_{m10} + t_{m14} \cdot a_m; \\ t_{m17} &= t_{m14} \cdot z_m + t_{m12} \cdot \overline{x_m^w} - t_{m13}; \end{aligned}}$$

$$g_m \cdot t_{m15} = h_m \cdot t_{m16} + t_{m17};\quad h_m = g_m \cdot \frac{t_{m7}}{t_{m6}} + \frac{t_{m8}}{t_{m6}};$$

$$t_{m15} \cdot g_m =$$

$$= g_m \cdot \frac{t_{m7} \cdot t_{m16}}{t_{m6}} + \frac{t_{m8} \cdot t_{m16}}{t_{m6}} + t_{m17};$$

$$g_m \cdot \left(t_{m15} - \frac{t_{m7} \cdot t_{m16}}{t_{m6}}\right) = \frac{t_{m8} \cdot t_{m16}}{t_{m6}} + t_{m17};$$

$$g_m = \frac{t_{m17} + \frac{t_{m8} \cdot t_{m16}}{t_{m6}}}{t_{m15} - \frac{t_{m7} \cdot t_{m16}}{t_{m6}}};$$

$$g_m = \frac{t_{m6} \cdot t_{m17} + t_{m8} \cdot t_{m16}}{t_{m6} \cdot t_{m15} - t_{m7} \cdot t_{m16}}.$$

$$v_m = -\overline{x_m^n}; \tag{2}$$

$$a_m = \frac{\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}}}{\overline{x_m^{2n}} - \left(\overline{x_m^n}\right)^2}; \tag{3}$$

$$c_m = -\left(\overline{x_m^r} + a_m \cdot \overline{x_m^n}\right); \tag{4}$$

$$p_m = \frac{\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{n+s}}}{\overline{x_m^{2n}} - \left(\overline{x_m^n}\right)^2};$$

$$t_{m1} = \overline{x_m^r} \cdot \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{r+s}} + P_m(\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}});$$

$$t_{m2} = a_m(\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^s} - \overline{x_m^{n+s}}) + a_m P_m[(\overline{x_m^n})^2 - \overline{x_m^{2n}}];$$

$$t_{m3} = \overline{x_m^{2r}} - (\overline{x_m^r})^2 + 2a_m(\overline{x_m^{n+r}} - \overline{x_m^n} - \overline{x_m^r});$$

$$d_m = \frac{t_{m1} + t_{m2}}{t_{m3} + a_m^2 \cdot \left[\overline{x_m^{2n}} - (\overline{x_m^n})^2\right]}; \tag{5}$$

$$e_m = d_m \cdot a_m + P_m \ ; \tag{6}$$

$$f_m = -\left(\overline{x_m^s} + d_m \cdot \overline{x_m^r} + e_m \cdot \overline{x_m^n}\right) \ ; \tag{7}$$

$$t_{m4} = \overline{x_m^r} + a_m \cdot \overline{x_m^n};$$

$$t_{m5} = t_{m4} \cdot \overline{x_m^n} - \overline{x_m^{n+r}} - a_m \cdot \overline{x_m^{2n}} \ ;$$

$$t_{m6} = \overline{x_m^{2r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} - t_{m4} \cdot \overline{x_m^r} - t_{m5} \cdot a_m;$$

$$t_{m7} = t_{m4} \cdot \overline{x_m^s} + t_{m5} \cdot P_m - \overline{x_m^{r+s}} - a_m \cdot \overline{x_m^{n+s}};$$

$$z_m = \frac{\overline{x_m^n} \cdot \overline{x_m^w} - \overline{x_m^{n+w}}}{\overline{x_m^{2n}} - \left(\overline{x_m^n}\right)^2};$$

$$t_{m8} = t_{m5} \cdot z_m + t_{m4} \cdot \overline{x_m^w} - \overline{x_m^{r+w}} - a_m \cdot \overline{x_m^{n+w}};$$

$$t_{m9} = \overline{x_m^{2s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{r+s}} + e_m \cdot \overline{x_m^{n+s}};$$

$$t_{m10} = \overline{x_m^{r+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{2r}} + e_m \cdot \overline{x_m^{n+r}};$$

$$t_{m11} = \overline{x_m^{n+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + e_m \cdot \overline{x_m^{2n}};$$

$$t_{m12} = \overline{x_m^s} + d_m \cdot \overline{x_m^r} + e_m \cdot \overline{x_m^n};$$

$$t_{m13} = \overline{x_m^{s+w}} + d_m \cdot \overline{x_m^{r+w}} + e_m \cdot \overline{x_m^{n+w}};$$

$$t_{m14} = t_{m12} \cdot \overline{x_m^n} - t_{m11};$$

$$t_{m15} = t_{m9} - t_{12} \cdot \overline{x_m^s} - t_{m14} \cdot P_m;$$

$$t_{m16} = t_{m12} \cdot \overline{x_m^r} - t_{m10};$$

$$t_{m17} = t_{m14} \cdot z_m + t_{12} \cdot \overline{x_m^w} - t_{m13};$$

$$g_m = \frac{t_{m6} \cdot t_{m17} + t_{m8} \cdot t_{m16}}{t_{m6} \cdot t_{m15} - t_{m7} \cdot t_{m16}} \ ; \tag{8}$$

$$h_m = \frac{(g_m \cdot t_{m7} + t_{m8})}{t_{m6}} \ ; \tag{9}$$

$$k_m = g_m \cdot P_m + h_m \cdot a_m + z_m \ ; \tag{10}$$

$$l_m = -(\overline{x_m^w} + g_m \cdot \overline{x_m^s} + h_m \cdot \overline{x_m^r} + k_m \cdot \overline{x_m^n}). \qquad (11)$$

Полученные выше зависимости предназначены для приближенных вычислений на ЭВМ. Несмотря на то, что с точки зрения элементарной математики многие зависимости дают нулевые величины, при выполнении расчетов на компьютере по этим зависимостям без их изменения получаются величины, не равные нулю, в итоге достигается высокая точность расчетных величин.

Подстановка в уравнение (1) и в матрицу планирования (см.табл.1) рассчитанных по формулам (2) – (11) величин коэффициентов ортогонализации обеспечивает ортогональность планирования однофакторных и многофакторных экспериментов на пяти асимметричных уровнях факторов.

В связи с ортогональным планированием коэффициенты регрессии уравнения (1) и дисперсии в определении коэффициентов регрессии рассчитываются независимо друг от друга по формулам:

$$b_o' = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{o,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{o,u}^2} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{u=1}^{N} y_u = \frac{1}{N} \cdot \left(y_a + y_b + y_c + y_d + y_e\right);$$

$$b_{mn} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{mn,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{mn,u}^2} = \frac{\left(x_{mna} \cdot y_a + x_{mnb} \cdot y_b + x_{mne} \cdot y_e + x_{mnc} \cdot y_c + x_{mnd} \cdot y_d\right)}{x_{mna}^2 + x_{mnb}^2 + x_{mnc}^2 + x_{mnd}^2 + x_{mne}^2};$$

$$b_{mr} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{mr,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{mr,u}^2} = \frac{\left(x_{mra} \cdot y_a + x_{mrb} \cdot y_b + x_{mre} \cdot y_e + x_{mrc} \cdot y_c + x_{mrd} \cdot y_d\right)}{x_{mra}^2 + x_{mrb}^2 + x_{mrc}^2 + x_{mrd}^2 + x_{mre}^2}$$

$$b_{ms} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{ms,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{ms,u}^2} = \frac{\left(x_{msa} \cdot y_a + x_{msb} \cdot y_b + x_{mse} \cdot y_e + x_{msc} \cdot y_c + x_{msd} \cdot y_d\right)}{x_{msa}^2 + x_{msb}^2 + x_{msc}^2 + x_{msd}^2 + x_{mse}^2}$$

$$b_{mw} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{mw,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{mw,u}^2} = \frac{\left(x_{mwa} \cdot y_a + x_{mwb} \cdot y_b + x_{mwe} \cdot y_e + x_{mwc} \cdot y_c + x_{mwd} \cdot y_d\right)}{x_{mwa}^2 + x_{mwb}^2 + x_{mwc}^2 + x_{mwd}^2 + x_{mwe}^2}$$

$$s^2\{b'_0\} = \frac{1}{N} \cdot s^2\{y\};$$

$$s^2\{b_{mn}\} = s^2\{y\} / \left(x_{mna}^2 + x_{mnb}^2 + x_{mnc}^2 + x_{mnd}^2 + x_{mne}^2\right);$$

$$s^2\{b_{mr}\} = s^2\{y\} / \left(x_{mra}^2 + x_{mrb}^2 + x_{mrc}^2 + x_{mrd}^2 + x_{mre}^2\right);$$

$$s^2\{b_{ms}\} = s^2\{y\} / \left(x_{msa}^2 + x_{msb}^2 + x_{msc}^2 + x_{msd}^2 + x_{mse}^2\right);$$

$$s^2\{b_{mw}\} = s^2\{y\} / \left(x_{mwa}^2 + x_{mwb}^2 + x_{mwc}^2 + x_{mwd}^2 + x_{mwe}^2\right);$$

где $s^2\{y\}$ - дисперсия опытов; $s^2\{b'_o\}$, $s^2\{b_{mn}\}$, $s^2\{b_{mr}\}$, $s^2\{b_{ms}\}$, $s^2\{b_{mw}\}$ – дисперсии в определении соответствующих коэффициентов регрессии b'_o, b_{mn}, b_{mr}, b_{ms}, b_{mw}.

При математическом моделировании на пяти уровнях m-го фактора $N = 5$.

В многочлене (1) каждый последующий член имеет на один коэффициент ортогонализации больше, чем предыдущий член. Так, второй член имеет один коэффициент ортогонализации, третий член – два, четвертый член – три, пятый член – четыре коэффициента ортогонализации, а всего получилось десять коэффициентов ортогонализации, причем по мере увеличения количества коэффициентов ортогонализации усложняются формулы для расчета этих коэффициентов. Очевидно, что планирование экспериментов на пяти уровнях независимых переменных является предельным и вполне достаточным для выявления сложных математических моделей процессов Важной особенностью уравнения регрессии (1) и матрицы планирования (см.табл.1) является их универсальность в связи с возможностью изменения чисел показателей степени факторов и перехода в частных случаях к планированию на четырех и трех уровнях факторов.

Рационально выявлять многофакторные математические модели и производить оптимизацию сложных процессов по системе сравнительно простых уровней на основе полинома (1).

В табл. 2, 3, 4, 5, 6, 7 приведены планы $4 \cdot k + 1$, а на рис. 2, 3, 4, 5, 6, 7 схемы зависимостей показателей от факторов, когда количество факторов k соответственно 2, 3, 4, 5, 6, 7. Планирование предусматривается на пяти уровнях каждого фактора. Средний уровень каждого фактора является арифметической величиной $x_{me} = 0{,}5 \cdot (x_{ma} + x_{mb})$, что позволяет все средние уровни факторов совместить в одной общей точке и создать пучок

кривых линий. Количество линий в пучке равно количеству факторов (см рис. 2-7). В табл. 2-7 обозначение факторов и показателей соответствует принятым в компьютерных программах, причем $E1 = 0{,}5 \cdot (x_{1a} + x_{1b})$, $E2 = 0{,}5 \cdot (x_{2a} + x_{2b})$, $E3 = 0{,}5 \cdot (x_{3a} + x_{3b})$, $E4 = 0{,}5 \cdot (x_{4a} + x_{4b})$, $E5 = 0{,}5 \cdot (x_{5a} + x_{5b})$, $E6 = 0{,}5 \cdot (x_{6a} + x_{6b})$, $E7 = 0{,}5 \cdot (x_{7a} + x_{7b})$.

На среднем уровне факторов опыты надо повторять несколько раз для выявления дисперсий $s^2\{y\}$. При планировании экспериментов на пяти уровнях факторов можно получить систему, в которую будет входить столько уравнений, сколько принять факторов, влияющих на показатель. Система уравнений может быть математической моделью сложного многофакторного процесса. Анализируя каждое полученное уравнение системы и результаты расчетов по уравнениям, можно выявлять возможность оптимизации процессов, прогнозировать улучшение показателей, разрабатывать новые составы, устройства, вещества. На основе планирования $4 \cdot k + 1$ можно получать разнообразные математические зависимости, которые графически могут быть такими, как показаны на рис. 2-7, и более сложными. Используя выявленные существенные факторы, рациональные интервалы варьирования факторов, наиболее приемлемые показатели степени факторов в уравнениях регрессии можно обоснованно перейти на математическое моделирование 5^2, когда количество факторов 2, а количество уровней каждого фактора 5. Рационально заменять отдельные существенные факторы комплексными факторами или зависимостями одних факторов от других.

Таблица 2

План $4 \cdot k + 1$ при $k = 2$

№	x_1	x_2	y
1	$A1 = x_{1a}$	$E2$	$Y(1)$
2	$B1 = x_{1b}$	$E2$	$Y(2)$
3	$C1 = x_{1c}$	$E2$	$Y(3)$
4	$D1 = x_{1d}$	$E2$	$Y(4)$
5	$E1$	$A2 = x_{2a}$	$Y(1)$
6	$E1$	$B2 = x_{2b}$	$Y(2)$
7	$E1$	$C2 = x_{2c}$	$Y(3)$
8	$E1$	$D2 = x_{2d}$	$Y(4)$
9	$E1$	$E2$	$Y(5)$

Таблица 3

План $4 \cdot k + 1$ при $k = 3$

№	x_1	x_2	x_3	y
1	$A1 = x_{1a}$	E2	E3	Y(1)
2	$B1 = x_{1b}$	E2	E3	Y(2)
3	$C1 = x_{1c}$	E2	E3	Y(3)
4	$D1 = x_{1d}$	E2	E3	Y(4)
5	E1	$A2 = x_{2a}$	E3	Y(1)
6	E1	$B2 = x_{2b}$	E3	Y(2)
7	E1	$C2 = x_{2c}$	E3	Y(3)
8	E1	$D2= x_{2d}$	E3	Y(4)
9	E1	E2	$A3 = x_{3a}$	Y(1)
10	E1	E2	$B3 = x_{3b}$	Y(2)
11	E1	E2	$C3 = x_{3c}$	Y(3)
12	E1	E2	$D3 = x_{3d}$	Y(4)
13	E1	E2	E3	Y(5)

Таблица 4

План $4 \cdot k + 1$ при $k = 4$

№	x_1	x_2	x_3	x_4	y
1	$A1 = x_{1a}$	E2	E3	E4	Y(1)
2	$B1 = x_{1b}$	E2	E3	E4	Y(2)
3	$C1 = x_{1c}$	E2	E3	E4	Y(3)
4	$D1 = x_{1d}$	E2	E3	E4	Y(4)
5	E1	$A2 = x_{2a}$	E3	E4	Y(1)
6	E1	$B2 = x_{2b}$	E3	E4	Y(2)
7	E1	$C2 = x_{2c}$	E3	E4	Y(3)
8	E1	$D2= x_{2d}$	E3	E4	Y(4)
9	E1	E2	$A3 = x_{3a}$	E4	Y(1)
10	E1	E2	$B3 = x_{3b}$	E4	Y(2)
11	E1	E2	$C3 = x_{3c}$	E4	Y(3)
12	E1	E2	$D3 = x_{3d}$	E4	Y(4)
13	E1	E2	E3	$A4 = x_{4a}$	Y(1)
14	E1	E2	E3	$B4 = x_{4b}$	Y(2)
15	E1	E2	E3	$C4 = x_{4c}$	Y(3)
16	E1	E2	E3	$D4 = x_{4d}$	Y(4)
17	E1	E2	E3	E4	Y(5)

Таблица 5

План $4 \cdot k + 1$ при $k = 5$

№	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y
1	$A1 = x_{1a}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$Y(1)$
2	$B1 = x_{1b}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$Y(2)$
3	$C1 = x_{1c}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$Y(3)$
4	$D1 = x_{1d}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$Y(4)$
5	$E1$	$A2 = x_{2a}$	$E3$	$E4$	$E5$	$Y(1)$
6	$E1$	$B2 = x_{2b}$	$E3$	$E4$	$E5$	$Y(2)$
7	$E1$	$C2 = x_{2c}$	$E3$	$E4$	$E5$	$Y(3)$
8	$E1$	$D2 = x_{2d}$	$E3$	$E4$	$E5$	$Y(4)$
9	$E1$	$E2$	$A3 = x_{3a}$	$E4$	$E5$	$Y(1)$
10	$E1$	$E2$	$B3 = x_{3b}$	$E4$	$E5$	$Y(2)$
11	$E1$	$E2$	$C3 = x_{3c}$	$E4$	$E5$	$Y(3)$
12	$E1$	$E2$	$D3 = x_{3d}$	$E4$	$E5$	$Y(4)$
13	$E1$	$E2$	$E3$	$A4 = x_{4a}$	$E5$	$Y(1)$
14	$E1$	$E2$	$E3$	$B4 = x_{4b}$	$E5$	$Y(2)$
15	$E1$	$E2$	$E3$	$C4 = x_{4c}$	$E5$	$Y(3)$
16	$E1$	$E2$	$E3$	$D4 = x_{4d}$	$E5$	$Y(4)$
17	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$A5 = x_{5a}$	$Y(1)$
18	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$B5 = x_{5b}$	$Y(2)$
19	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$C5 = x_{5c}$	$Y(3)$
20	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$D5 = x_{5d}$	$Y(4)$
21	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$Y(5)$

Таблица 6

План $4 \cdot k + 1$ при $k = 6$

№	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	y
1	$A1 = x_{1a}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(1)$
2	$B1 = x_{1b}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(2)$
3	$C1 = x_{1c}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(3)$
4	$D1 = x_{1d}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(4)$
5	$E1$	$A2 = x_{2a}$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(1)$
6	$E1$	$B2 = x_{2b}$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(2)$
7	$E1$	$C2 = x_{2c}$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(3)$
8	$E1$	$D2 = x_{2d}$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(4)$
9	$E1$	$E2$	$A3 = x_{3a}$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(1)$
10	$E1$	$E2$	$B3 = x_{3b}$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(2)$
11	$E1$	$E2$	$C3 = x_{3c}$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(3)$
12	$E1$	$E2$	$D3 = x_{3d}$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(4)$
13	$E1$	$E2$	$E3$	$A4 = x_{4a}$	$E5$	$E6$	$Y(1)$
14	$E1$	$E2$	$E3$	$B4 = x_{4b}$	$E5$	$E6$	$Y(2)$
15	$E1$	$E2$	$E3$	$C4 = x_{4c}$	$E5$	$E6$	$Y(3)$
16	$E1$	$E2$	$E3$	$D4 = x_{4d}$	$E5$	$E6$	$Y(4)$
17	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$A5 = x_{5a}$	$E6$	$Y(1)$
18	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$B5 = x_{5b}$	$E6$	$Y(2)$
19	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$C5 = x_{5c}$	$E6$	$Y(3)$
20	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$D5 = x_{5d}$	$E6$	$Y(4)$
21	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$A6 = x_{6a}$	$Y(1)$
22	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$B6 = x_{6b}$	$Y(2)$
23	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$C6 = x_{6c}$	$Y(3)$
24	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$D6 = x_{6d}$	$Y(4)$
25	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$Y(5)$

Таблица 7

План $4 \cdot k + 1$ при $k = 7$

№	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	y
1	$A1=x_{1a}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(1)$
2	$B1=x_{1b}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(2)$
3	$C1=x_{1c}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(3)$
4	$D1=x_{1d}$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(4)$
5	$E1$	$A2=x_{2a}$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(1)$
6	$E1$	$B2=x_{2b}$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(2)$
7	$E1$	$C2=x_{2c}$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(3)$
8	$E1$	$D2=x_{2d}$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(4)$
9	$E1$	$E2$	$A3=x_{3a}$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(1)$
10	$E1$	$E2$	$B3=x_{3b}$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(2)$
11	$E1$	$E2$	$C3=x_{3c}$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(3)$
12	$E1$	$E2$	$D3=x_{3d}$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(4)$
13	$E1$	$E2$	$E3$	$A4=x_{4a}$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(1)$
14	$E1$	$E2$	$E3$	$B4=x_{4b}$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(2)$
15	$E1$	$E2$	$E3$	$C4=x_{4c}$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(3)$
16	$E1$	$E2$	$E3$	$D4=x_{4d}$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(4)$
17	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$A5=x_{5a}$	$E6$	$E7$	$Y(1)$
18	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$B5=x_{5b}$	$E6$	$E7$	$Y(2)$
19	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$C5=x_{5c}$	$E6$	$E7$	$Y(3)$
20	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$D5=x_{5d}$	$E6$	$E7$	$Y(4)$
21	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$A6=x_{6a}$	$E7$	$Y(1)$
22	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$B6=x_{6b}$	$E7$	$Y(2)$
23	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$C6=x_{6c}$	$E7$	$Y(3)$
24	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$D6=x_{6d}$	$E7$	$Y(4)$
25	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$A7=x_{7a}$	$Y(1)$
26	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$B7=x_{7b}$	$Y(2)$
27	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$C7=x_{7c}$	$Y(3)$
28	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$D7=x_{7d}$	$Y(4)$
29	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$	$E6$	$E7$	$Y(5)$

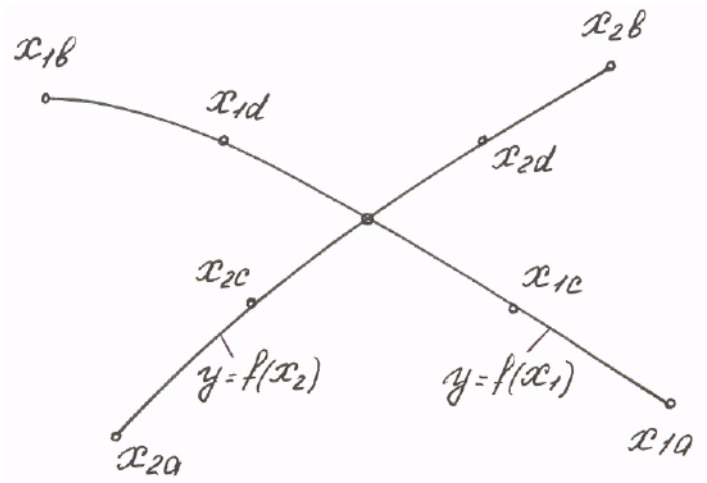


Рис. 2. Схема зависимости показателя
от двух факторов при планировании *4 · 2 + 1*

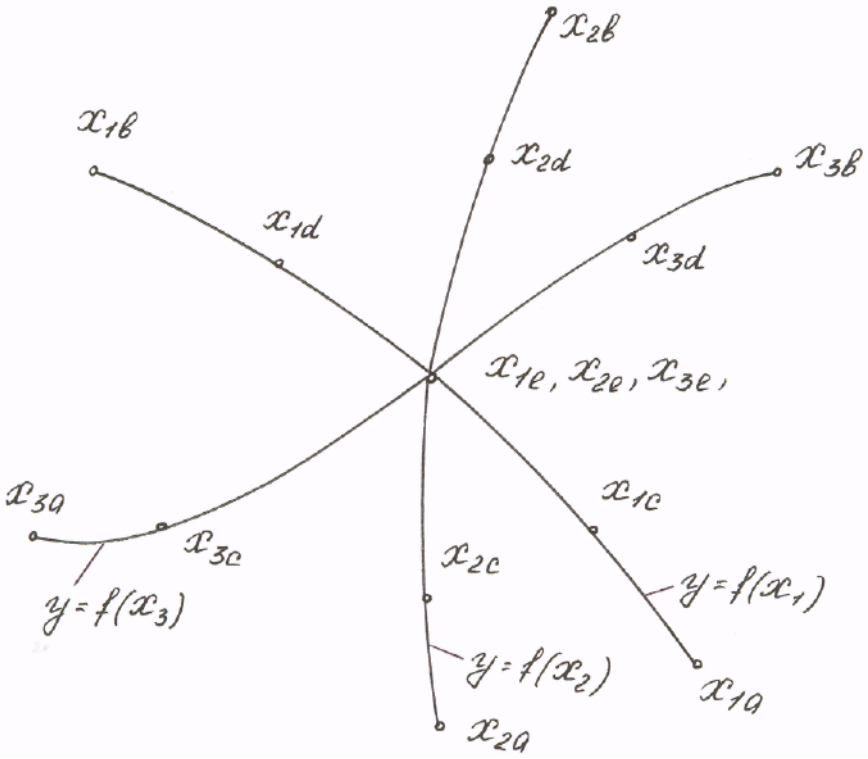


Рис. 3. Схема зависимости показателя
от трех факторов при планировании *4 · 3 + 1*

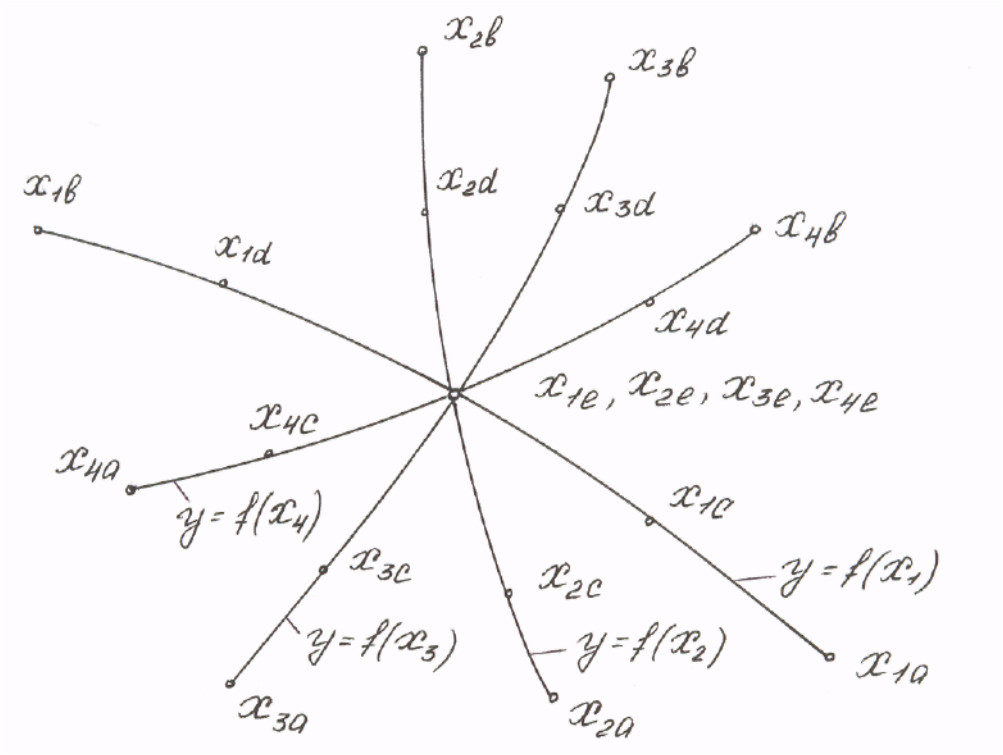


Рис. 4. Схема зависимости показателя
от четырех факторов при планировании *4 · 4 + 1*

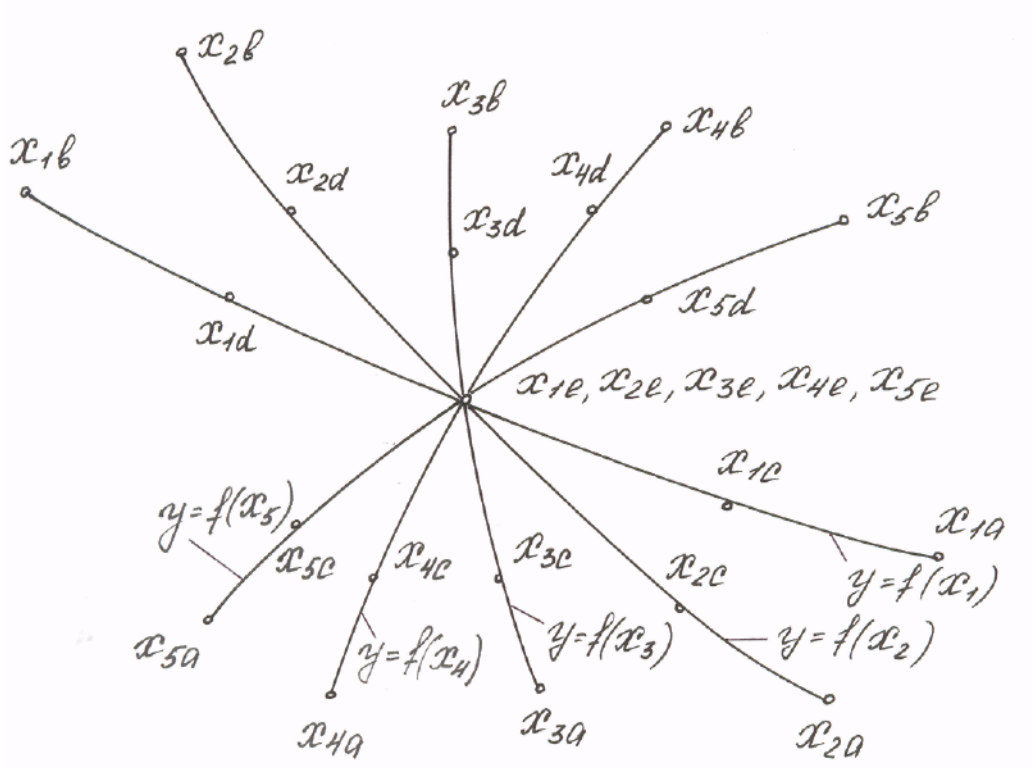


Рис. 5. Схема зависимости показателя
от пяти факторов при планировании *4 · 5 + 1*

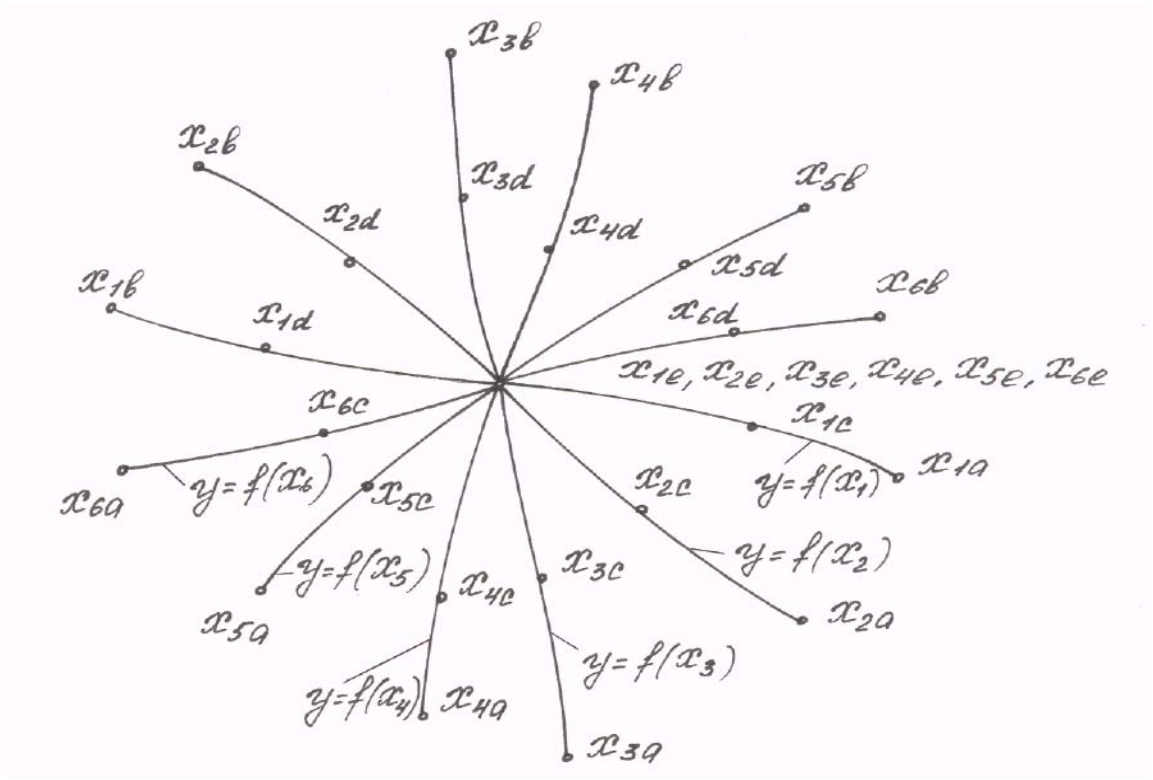


Рис. 6. Схема зависимости показателя
от шести факторов при планировании $4 \cdot 6 + 1$

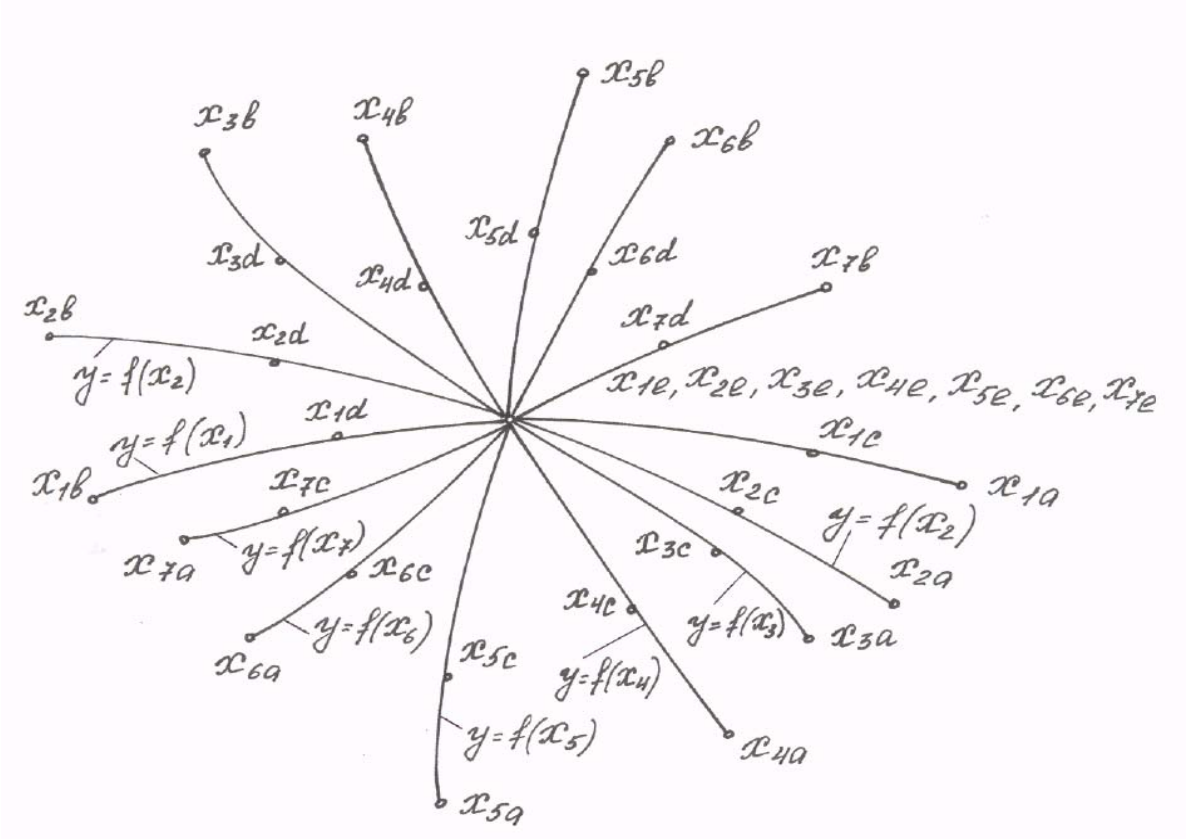


Рис. 7. Схема зависимости показателя
от семи факторов при планировании $4 \cdot 7 + 1$

На рис. 8 представлена в общем виде графическая зависимость показателя от двух факторов.

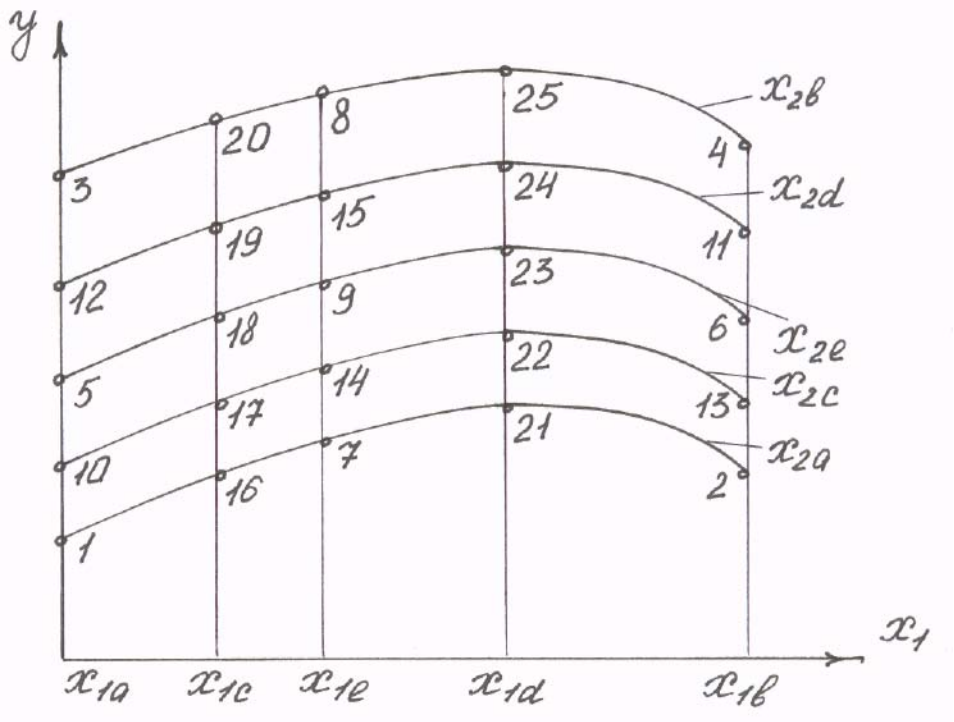


Рис. 8. Зависимость показателя от двух факторов

Если записать в виде таблицы координаты точек 1-25 рис.8, то получается план проведения двухфакторных экспериментов на пяти и, в частных случаях, на трех, двух уровнях независимых переменных (табл. 8).

Таблица 8

Планы проведения двухфакторных экспериментов 5^2, 3^3, 2^2

План	№, *u*	$x_{1,u}$	$x_{2,u}$	y_u
2^2	1	$x_{1,1}=x_{1a}$	$x_{2,1}=x_{2a}$	y_1
	2	$x_{1,2}=x_{1b}$	$x_{2,2}=x_{2a}$	y_2
	3	$x_{1,3}=x_{1a}$	$x_{2,3}=x_{2b}$	y_3
	4	$x_{1,4}=x_{1b}$	$x_{2,4}=x_{2b}$	y_4
3^2	5	$x_{1,5}=x_{1a}$	$x_{2,5}=x_{2e}$	y_5
	6	$x_{1,6}=x_{1b}$	$x_{2,6}=x_{2e}$	y_6
	7	$x_{1,7}=x_{1e}$	$x_{2,7}=x_{2a}$	y_7
	8	$x_{1,8}=x_{1e}$	$x_{2,8}=x_{2b}$	y_8
	9	$x_{1,9}=x_{1e}$	$x_{2,9}=x_{2e}$	y_9
5^2	10	$x_{1,10}=x_{1a}$	$x_{2,10}=x_{2c}$	y_{10}
	11	$x_{1,11}=x_{1b}$	$x_{2,11}=x_{2d}$	y_{11}
	12	$x_{1,12}=x_{1a}$	$x_{2,12}=x_{2d}$	y_{12}
	13	$x_{1,13}=x_{1b}$	$x_{2,13}=x_{2c}$	y_{13}
	14	$x_{1,14}=x_{1e}$	$x_{2,14}=x_{2c}$	y_{14}
	15	$x_{1,15}=x_{1e}$	$x_{2,15}=x_{2d}$	y_{15}
	16	$x_{1,16}=x_{1c}$	$x_{2,16}=x_{2a}$	y_{16}
	17	$x_{1,17}=x_{1c}$	$x_{2,17}=x_{2c}$	y_{17}
	18	$x_{1,18}=x_{1c}$	$x_{2,18}=x_{2e}$	y_{18}
	19	$x_{1,19}=x_{1c}$	$x_{2,19}=x_{2d}$	y_{19}
	20	$x_{1,20}=x_{1c}$	$x_{2,20}=x_{2b}$	y_{20}
	21	$x_{1,21}=x_{1d}$	$x_{2,21}=x_{2a}$	y_{21}
	22	$x_{1,22}=x_{1d}$	$x_{2,22}=x_{2c}$	y_{22}
	23	$x_{1,23}=x_{1d}$	$x_{2,23}=x_{2e}$	y_{23}
	24	$x_{1,24}=x_{1d}$	$x_{2,24}=x_{2d}$	y_{24}
	25	$x_{1,25}=x_{1d}$	$x_{2,25}=x_{2b}$	y_{25}

Для плана 5^2 уравнение регрессии определяется исходя из соответствующих зависимостей:

$$y = a'_o + a_{1n} \cdot x_{1n} + a_{1r} \cdot x_{1r} + a_{1s} \cdot x_{1s} + a_{1w} \cdot x_{1w} \ ; \qquad (12)$$

где $a'_o = c'_o \cdot x_o + c_{2n} \cdot x_{2n} + c_{2r} \cdot x_{2r} + c_{2s} \cdot x_{2s} + c_{2w} \cdot x_{2w}$;

$a_n = d'_o + d_{2n} \cdot x_{2n} + d_{2r} \cdot x_{2r} + d_{2s} \cdot x_{2s} + d_{2w} \cdot x_{2w}$;

$a_{1r} = e'_o + e_{2n} \cdot x_{2n} + e_{2r} \cdot x_{2r} + e_{2s} \cdot x_{2s} + e_{2w} \cdot x_{2w}$;

$a_{1s} = f'_o + f_{2n} \cdot x_{2n} + f_{2r} \cdot x_{2r} + f_{2s} \cdot x_{2s} + f_{2w} \cdot x_{2w}$;

$a_{1w} = g'_o + g_{2n} \cdot x_{2n} + g_{2r} \cdot x_{2r} + g_{2s} \cdot x_{2s} + g_{2w} \cdot x_{2w}$.

После подстановки, перемножений и замены коэффициентов получается следующий полином для плана 5^2 (см. табл. 8):

$$y = b'_o \cdot x_o + b_{1n} \cdot x_{1n} + b_{2n} \cdot x_{2n} + b_{1n,2n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} + b_{1r} \cdot x_{1r} + b_{2r} \cdot x_{2r} + \\ + b_{1n,2r} \cdot x_{1n} \cdot x_{2r} + b_{2n,1r} \cdot x_{2n} \cdot x_{1r} + b_{1r,2r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2r} + b_{1s} \cdot x_{1s} + b_{2s} \cdot x_{2s} + \\ + b_{1n,2s} \cdot x_{1n} \cdot x_{2s} + b_{2n,1s} \cdot x_{2n} \cdot x_{1s} + b_{1r,2s} \cdot x_{1r} \cdot x_{2s} + b_{2r,1s} \cdot x_{2r} \cdot x_{1s} + \\ + b_{1s,2s} \cdot x_{1s} \cdot x_{2s} + b_{1w} \cdot x_{1w} + b_{2w} \cdot x_{2w} + b_{1n,2w} \cdot x_{1n} \cdot x_{2w} + b_{2n,1w} \cdot x_{2n} \cdot x_{1w} + \\ + b_{1r,2w} \cdot x_{1r} \cdot x_{2w} + b_{2r,1w} \cdot x_{2r} \cdot x_{1w} + b_{1s,2w} \cdot x_{1s} \cdot x_{2w} + b_{2s,1w} \cdot x_{2s} \cdot x_{1w} + \\ + b_{1w,2w} \cdot x_{1w} \cdot x_{2w} \qquad (13)$$

В уравнениях регрессии (13) y - показатель (параметр) процесса;

$x_o = +1;\ x_{1n} = x^n_1 + v_1;$

$x_{1r} = x^r_1 + a_1 \cdot x^n_1 + c_1;\ x_{1s} = x^s_1 + d_1 \cdot x^r_1 + e_1 \cdot x^n_1 + f_1;$

$x_{1w} = x^w_1 + g_1 \cdot x^s_1 + h_1 \cdot x^r_1 + k_1 \cdot x^n_1 + l_1;\ x_{2n} = x^n_2 + v_2;$

$x_{2r} = x^r_2 + a_2 \cdot x^n_2 + c_2;\ x_{2s} = x^s_2 + d_2 \cdot x^r_2 + e_2 \cdot x^n_2 + f_2;$

$x_{2w} = x^w_2 + g_2 \cdot x^s_2 + h_2 \cdot x^r_2 + k_2 \cdot x^n_2 + l_2;$

x_1, x_2 -1, 2-й факторы (независимые переменные); n, r, s, w - изменяемые числа показателей степени факторов; v_1, a_1, c_1, d_1, e_1, f_1, g_1, h_1, k_1, l_1 - коэффициенты ортогонализациииции, определяемые при пяти уровнях 1-го фактора, $m = 1$, $N = 5$ по формулам (2)-(11);

v_2, a_2, c_2, d_2, e_2, f_2, g_2, h_2, k_2, l_2 - коэффициенты ортогонализации, определяемые при пяти уровнях 2-го фактора, $m = 2$, $N = 5$ по формулам (2) - (11);

b_0', b_{1n}, b_{2n}, $b_{1n,2n}$, b_{1r}, b_{2r}, $b_{1n,2r}$, $b_{2n,1r}$, $b_{1r,2r}$, b_{1s}, b_{2s}, $b_{1n,2s}$, $b_{2n,1s}$, $b_{1r,2s}$, $b_{2r,1s}$, $b_{1s,2s}$, b_{1w}, b_{2w}, $b_{1n,2w}$, $b_{2n,1w}$, $b_{1r,2w}$, $b_{22r,1w}$, $b_{1s,2w}$, $b_{2s,1w}$ $b_{1w,2w}$ - коэффициенты регрессии. Для уровней a, b, c, d, e факторы имеют следующие обозначения: x_{1a}, x_{1b}, x_{1c}, x_{1d}, x_{1e}, x_{2a}, x_{2b}, x_{2c}, x_{2d}, x_{2e}.

В связи с ортогональным планированием все коэффициенты регрессии и дисперсии в их определении рассчитываются независимо друг от друга. Формулы для расчета коэффициентов регрессии уравнения (13) имеют следующий вид:

$$b'_0 = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{o,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x^2_{o,u}} = \frac{\sum_{u=1}^{N} y_u}{N}; \quad b_{1n} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x^2_{1n,u}};$$

$$b_{2n} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x^2_{2n,u}}; \qquad b_{1n,2n} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot x_{2n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1n,u} \cdot x_{2n,u})^2};$$

$$b_{1r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{1r,u}^2}; \qquad b_{2r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{2r,u}^2};$$

$$b_{1n,2r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1n,u} \cdot x_{2r,u})^2}; \quad b_{2n,1r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2n,u} \cdot x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{2n,u} \cdot x_{1r,u})^2};$$

$$b_{1r,2r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1r,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1r,u} \cdot x_{2r,u})^2}; \; b_{1s} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{1s,u}^2};$$

$$b_{2s} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{2s,u}^2}; \quad b_{1n,2s} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1n,u} \cdot x_{2s,u})^2};$$

$$b_{2n,1s} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2n,u} \cdot x_{1s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{2n,u} \cdot x_{1s,u})^2}; \; b_{1r,2s} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1r,u} \cdot x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1r,u} \cdot x_{2s,u})^2};$$

$$b_{2r,1s} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2r,u} \cdot x_{1s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{2r,u} \cdot x_{1s,u})^2}; \; b_{1s,2s} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1s,u} \cdot x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1s,u} \cdot x_{2s,u})^2};$$

$$b_{1w} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{1w,u}^2}; \qquad b_{2w} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{2w,u}^2};$$

$$b_{1n,2w} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot x_{2w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1n,u} \cdot x_{2w,u})^2}; \; b_{2n,1w} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2n,u} \cdot x_{1w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{2n,u} \cdot x_{1w,u})^2};$$

$$b_{1r,2w} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1r,u} \cdot x_{2w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1r,u} \cdot x_{2w,u})^2}; \; b_{2r,1w} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2r,u} \cdot x_{1w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{2r,u} \cdot x_{1w,u})^2};$$

$$b_{1s,2w} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1s,u} \cdot x_{2w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1s,u} \cdot x_{2w,u})^2}; \; b_{2s,1w} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2s,u} \cdot x_{1w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{2s,u} \cdot x_{1w,u})^2};$$

$$b_{1w,2w} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1w,u} \cdot x_{2w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1w,u} \cdot x_{2w,u})^2};$$

где

$$x_{1n,u} = x^n_{1,u} + v_1; \quad x_{1r,u} = x^r_{1,u} + a_1 \cdot x^n_{1,u} + c_1;$$
$$x_{1s,u} = x^s_{1,u} + d_1 \cdot x^r_{1,u} + e_1 \cdot x^n_{1,u} + f_1;$$
$$x_{1w,u} = x^w_{1,u} + q_1 \cdot x^s_{1,u} + h_1 \cdot x^r_{1,u} + \kappa_1 x^n_{1,u} + l_1;$$
$$x_{2n,u} = x^n_{2,u} + v_2; \quad x_{2r,u} = x^r_{2,u} + a_2 \cdot x^n_{2,u} + c_2;$$
$$x_{2s,u} = x^s_{2,u} + d_2 \cdot x^r_{2,u} + e_2 \cdot x^n_{2,u} + f_2;$$
$$x_{2w,u} = x^w_{2,u} + q_2 \cdot x^s_{2,u} + h_2 \cdot x^r_{2,u} + \kappa_2 \cdot xn_{2,u} + l_2,$$

N – количество опытов в соответствующем уравнению регрессии плане проведения экспериментов.

Выполняется расчет тех коэффициентов регрессии, которые входят в рассматриваемое уравнение регрессии. В формулы подставляются данные от 1-го до N-го опыта плана, соответствующего уравнению регрессии.

Если числитель (делимое) каждой из формул для расчета коэффициентов регрессии заменить величиной дисперсии опытов $s^2\{y\}$, а знаменатель (делитель) оставить прежним, то получаются формулы для расчета дисперсий в определении соответствующих коэффициентов регрессии $s^2\{b'_0\}$, $s^2\{b_{1n}\}$, $s^2\{b_{2n}\}$, $s^2\{b_{1n,2n}\}$, $s^2\{b_{1r}\}$, $s^2\{b_{2r}\}$, $s^2\{b_{1n,2r}\}$, $s^2\{b_{2n,1r}\}$, $s^2\{b_{1r,2r}\}$, $s^2\{b_{1s}\}$, $s^2\{b_{2s}\}$, $s^2\{b_{1n,2s}\}$, $s^2\{b_{2n,1s}\}$, $s^2\{b_{1r,2s}\}$, $s^2\{b_{2r,1s}\}$, $s^2\{b_{1s,2s}\}$, $s^2\{b_{1w}\}$, $s^2\{b_{2w}\}$, $s^2\{b_{1n,2w}\}$, $s^2\{b_{2n,1w}\}$, $s^2\{b_{1r,2w}\}$, $s^2\{b_{2r,1w}\}$, $s^2\{b_{1s,2w}\}$, $s^2\{b_{2s,1w}\}$, $s^2\{b_{1w,2w}\}$.

Сначала следует принимать $n = 1$, $r = 2$, $s = 3$, $w = 4$ и при этих числах показателей степени факторов производить расчет коэффициентов

регрессии, дисперсий в их определении, выявлять статистически значимые коэффициенты регрессии. Математическая модель процесса получается после подстановки в уравнение регрессии статистически значимых и не равных нулю коэффициентов регрессии. Если при проверке выясняется, что математическая модель не обеспечивает требуемой точности, то следует изменить величины показателей степени факторов и основа выполнять расчеты, пока не будет достигнута требуемая точность.

Математическое моделирование рационально начитать при планировании экспериментов на двух уровнях факторов.

Для математического моделирования процессов при ортогональном планировании экспериментов на двух уровнях независимых переменных предложено уравнение регрессии, в общем виде представляющее двухчлен

$$y = b'_o \cdot x_o + b_{mn} \cdot x_{mn}\ ; \qquad (14)$$

в котором y – показатель (параметр) процесса; $x_o = +1$;

$$x_{mn} = x^n_m + v_m;$$

m – порядковый номер фактора; x_m – m-й фактор (независимое переменное); n – изменяемое число показателя степени фактора; v_m – коэффициент ортогонализации; b'_o, b_{mn} – коэффициенты регрессии.

Для каждой величины m-го фактора x_{ma}, x_{mb} определяются соответственно показатели y_a, y_b.

В табл. 9 представлена матрица планирования однофакторных экспериментов на двух уровнях независимых переменных.

Таблица 9

Матрица планирования однофакторных экспериментов
на двух уровнях независимых переменных

№	Уровни факторов	x_o	x_{mn}
1	a	+1	$x_{mn,1} = x_{mna}$
2	b	+1	$x_{mn,2} = x_{mnb}$

В матрице планирования экспериментов (табл.9):

$$x_{mna} = x^n_{ma} + v_m\ ; \qquad x_{mnb} = x^n_{mb} + v_m\ ;$$

Для сокращения дальнейших записей введено следующее обозначение средней арифметической величины:

$$\overline{x^n_m} = \left(x^n_{ma} + x^n_{mb}\right)/2\ ;$$

Ортогональность матрицы планирования (см. табл.9) обеспечивается в том случае, если

$$x_{mna} + x_{mnb} = 0 .$$

После подстановки в это уравнение значений слагаемых, замены получаемой суммы средней арифметической величиной определяется коэффициент ортогонализации.

$$x^n_{ma} + v_m + x^n_{mb} + v_m = 0;$$

$$2 \cdot v_m = -\left(x^n_{ma} + x^n_{mb}\right);$$

$$v_m = -\frac{1}{2} \cdot \left(x^n_{ma} + x^n_{mb}\right) = -\overline{x^n_m};$$

$$\underline{v_m = -\overline{x^n_m}}.$$

$$v_m = -\overline{x^n_m} \qquad (15)$$

Полученные выше зависимости предназначены для приближенных вычислений на ЭВМ.

Подстановка в уравнение (14) и в матрицу планирования (см. табл.9) рассчитанную по формуле (15) величины коэффициента ортогонализации обеспечивает ортогональность планирования экспериментов на двух уровнях факторов.

В связи с ортогональным планированием коэффициенты регрессии уравнения (14) и дисперсии в определении коэффициентов регрессии рассчитываются независимо друг от друга по формулам:

$$b_o^{'} = \frac{\sum_{u=1}^{2} x_{o,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{2} x_{o,u}^2} = \frac{1}{2} \cdot \sum_{u=1}^{2} y_u = \frac{1}{2} \cdot \left(y_a + y_b\right) ; \qquad (16)$$

$$b_{mn} = \frac{\sum_{u=1}^{2} x_{mn,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{2} x_{mn,u}^2} = \frac{\left(x_{mna} \cdot y_a + x_{mnb} \cdot y_b\right)}{x_{mna}^2 + x_{mnb}^2}; \qquad (17)$$

$$s^2\{b_0^{'}\} = \frac{1}{2} \cdot s^2\{y\};$$

$$s^2\{b_{mn}\} = s^2\{y\} / \left(x_{mna}^2 + x_{mnb}^2\right),$$

где $s^2\{y\}$ - дисперсия опытов; $s^2\{b^{'}_o\}$, $s^2\{b_{mn}\}$, – дисперсии в определении соответствующих коэффициентов регрессии $b^{'}_o$, b_{mn}.

Важной особенностью уравнения регрессии (14) и матрицы планирования (см. табл.9) является их универсальность в связи с возможностью изменения чисел показателей степени факторов.

В табл. 10-14 представлены планы проведения экспериментов 2^1, 2^2, 2^3, 2^4, 2^5 применительно к использованию ЭВМ для математического моделирования (X – количество опытов по плану).

Таблица 10

План 2^1 (X = 2)

Номер опыта	Фактор F(J), x_1	Показатель Y(J), y
1	A1 = x_{1a}	Y(1) = y_a
2	B1 = x_{1b}	Y(2) = y_b

Таблица 11

План 2^2 (X = 4)

Номер опыта	Факторы		Показатель Y(J) , y
	F(J) , x_1	H(J) , x_2	
1	A1 = x_{1a}	A2 = x_{2a}	Y(1) = y_1
2	B1 = x_{1b}	A2 = x_{2a}	Y(2) = y_2
3	A1 = x_{1a}	B2 = x_{2b}	Y(3) = y_3
4	B1 = x_{1b}	B2 = x_{2b}	Y(4) = y_4

Таблица 12

План 2^3 (X = 8)

Номер опыта	Факторы			Показатель Y(J) , y
	F(J) , x_1	H(J) , x_2	L(J) , x_3	
1	A1 = x_{1a}	A2 = x_{2a}	A3 = x_{3a}	Y(1) = y_1
2	B1 = x_{1b}	A2 = x_{2a}	A3= x_{3a}	Y(2) = y_2
3	A1 = x_{1a}	B2 = x_{2b}	A3= x_{3a}	Y(3) = y_3
4	B1 = x_{1b}	B2 = x_{2b}	A3= x_{3a}	Y(4) = y_4
5	A1 = x_{1a}	A2 = x_{2a}	B3= x_{3b}	Y(5) = y_5
6	B1 = x_{1b}	A2 = x_{2a}	B3= x_{3b}	Y(6) = y_6
7	A1 = x_{1a}	B2 = x_{2b}	B3= x_{3b}	Y(7) = y_7
8	B1 = x_{1b}	B2 = x_{2b}	B3= x_{3b}	Y(8) = y_8

Таблица 13

План 2^4 (X = 16)

Номер опыта	Факторы				Показатель Y(J), y
	F(J) , x_1	H(J) , x_2	L(J) , x_3	K(J), x_4	
1	A1 = x_{1a}	A2 = x_{2a}	A3 = x_{3a}	A4 = x_{4a}	Y(1) = y_1
2	B1 = x_{1b}	A2 = x_{2a}	A3= x_{3a}	A4 = x_{4a}	Y(2) = y_2
3	A1 = x_{1a}	B2 = x_{2b}	A3= x_{3a}	A4 = x_{4a}	Y(3) = y_3
4	B1 = x_{1b}	B2 = x_{2b}	A3= x_{3a}	A4 = x_{4a}	Y(4) = y_4
5	A1 = x_{1a}	A2 = x_{2a}	B3= x_{3b}	A4 = x_{4a}	Y(5) = y_5
6	B1 = x_{1b}	A2 = x_{2a}	B3= x_{3b}	A4 = x_{4a}	Y(6) = y_6
7	A1 = x_{1a}	B2 = x_{2b}	B3= x_{3b}	A4 = x_{4a}	Y(7) = y_7
8	B1 = x_{1b}	B2 = x_{2b}	B3= x_{3b}	A4 = x_{4a}	Y(8) = y_8
9	A1 = x_{1a}	A2 = x_{2a}	A3 = x_{3a}	B4 = x_{4b}	Y(9) = y_9
10	B1 = x_{1b}	A2 = x_{2a}	A3= x_{3a}	B4 = x_{4b}	Y(10) = y_{10}
11	A1 = x_{1a}	B2 = x_{2b}	A3= x_{3a}	B4 = x_{4b}	Y(11) = y_{11}
12	B1 = x_{1b}	B2 = x_{2b}	A3= x_{3a}	B4 = x_{4b}	Y(12) = y_{12}
13	A1 = x_{1a}	A2 = x_{2a}	B3= x_{3b}	B4 = x_{4b}	Y(13) = y_{13}
14	B1 = x_{1b}	A2 = x_{2a}	B3= x_{3b}	B4 = x_{4b}	Y(14) = y_{14}
15	A1 = x_{1a}	B2 = x_{2b}	B3= x_{3b}	B4 = x_{4b}	Y(15) = y_{15}
16	B1 = x_{1b}	B2 = x_{2b}	B3= x_{3b}	B4 = x_{4b}	Y(16) = y_{16}

Таблица 14

План 2^5 (X = 32)

Номер опыта	Факторы					Показатель Y(J),y
	F(J) , x_1	H(J) , x_2	L(J) , x_3	K(J), x_4	M(J), x_5	
1	A1 = x_{1a}	A2 = x_{2a}	A3 = x_{3a}	A4 = x_{4a}	A5 = x_{5a}	Y(1) = y_1
2	B1 = x_{1b}	A2 = x_{2a}	A3= x_{3a}	A4 = x_{4a}	A5 = x_{5a}	Y(2) = y_2
3	A1 = x_{1a}	B2 = x_{2b}	A3= x_{3a}	A4 = x_{4a}	A5 = x_{5a}	Y(3) = y_3
4	B1 = x_{1b}	B2 = x_{2b}	A3= x_{3a}	A4 = x_{4a}	A5 = x_{5a}	Y(4) = y_4
5	A1 = x_{1a}	A2 = x_{2a}	B3= x_{3b}	A4 = x_{4a}	A5 = x_{5a}	Y(5) = y_5
6	B1 = x_{1b}	A2 = x_{2a}	B3= x_{3b}	A4 = x_{4a}	A5 = x_{5a}	Y(6) = y_6
7	A1 = x_{1a}	B2 = x_{2b}	B3= x_{3b}	A4 = x_{4a}	A5 = x_{5a}	Y(7) = y_7
8	B1 = x_{1b}	B2 = x_{2b}	B3= x_{3b}	A4 = x_{4a}	A5 = x_{5a}	Y(8) = y_8
9	A1 = x_{1a}	A2 = x_{2a}	A3 = x_{3a}	B4 = x_{4b}	A5 = x_{5a}	Y(9) = y_9
10	B1 = x_{1b}	A2 = x_{2a}	A3= x_{3a}	B4 = x_{4b}	A5 = x_{5a}	Y(10)= y_{10}
11	A1 = x_{1a}	B2 = x_{2b}	A3= x_{3a}	B4 = x_{4b}	A5 = x_{5a}	Y(11)= y_{11}
12	B1 = x_{1b}	B2 = x_{2b}	A3= x_{3a}	B4 = x_{4b}	A5 = x_{5a}	Y(12)= y_{12}
13	A1 = x_{1a}	A2 = x_{2a}	B3= x_{3b}	B4 = x_{4b}	A5 = x_{5a}	Y(13)= y_{13}
14	B1 = x_{1b}	A2 = x_{2a}	B3= x_{3b}	B4 = x_{4b}	A5 = x_{5a}	Y(14)= y_{14}
15	A1 = x_{1a}	B2 = x_{2b}	B3= x_{3b}	B4 = x_{4b}	A5 = x_{5a}	Y(15)= y_{15}
16	B1 = x_{1b}	B2 = x_{2b}	B3= x_{3b}	B4 = x_{4b}	A5 = x_{5a}	Y(16)= y_{16}
17	A1 = x_{1a}	A2 = x_{2a}	A3 = x_{3a}	A4 = x_{4a}	B5 = x_{5b}	Y(17)= y_{17}
18	B1 = x_{1b}	A2 = x_{2a}	A3= x_{3a}	A4 = x_{4a}	B5 = x_{5b}	Y(18)= y_{18}
19	A1 = x_{1a}	B2 = x_{2b}	A3= x_{3a}	A4 = x_{4a}	B5 = x_{5b}	Y(19)= y_{19}
20	B1 = x_{1b}	B2 = x_{2b}	A3= x_{3a}	A4 = x_{4a}	B5 = x_{5b}	Y(20)= y_{20}
21	A1 = x_{1a}	A2 = x_{2a}	B3= x_{3b}	A4 = x_{4a}	B5 = x_{5b}	Y(21)= y_{21}
22	B1 = x_{1b}	A2 = x_{2a}	B3= x_{3b}	A4 = x_{4a}	B5 = x_{5b}	Y(22)= y_{22}
23	A1 = x_{1a}	B2 = x_{2b}	B3= x_{3b}	A4 = x_{4a}	B5 = x_{5b}	Y(23)= y_{23}
24	B1 = x_{1b}	B2 = x_{2b}	B3= x_{3b}	A4 = x_{4a}	B5 = x_{5b}	Y(24)= y_{24}
25	A1 = x_{1a}	A2 = x_{2a}	A3 = x_{3a}	B4 = x_{4b}	B5 = x_{5b}	Y(25)= y_{25}
26	B1 = x_{1b}	A2 = x_{2a}	A3= x_{3a}	B4 = x_{4b}	B5 = x_{5b}	Y(26)= y_{26}
27	A1 = x_{1a}	B2 = x_{2b}	A3= x_{3a}	B4 = x_{4b}	B5 = x_{5b}	Y(27)= y_{27}
28	B1 = x_{1b}	B2 = x_{2b}	A3= x_{3a}	B4 = x_{4b}	B5 = x_{5b}	Y(28)= y_{28}
29	A1 = x_{1a}	A2 = x_{2a}	B3= x_{3b}	B4 = x_{4b}	B5 = x_{5b}	Y(29)= y_{29}
30	B1 = x_{1b}	A2 = x_{2a}	B3= x_{3b}	B4 = x_{4b}	B5 = x_{5b}	Y(30)= y_{30}
31	A1 = x_{1a}	B2 = x_{2b}	B3= x_{3b}	B4 = x_{4b}	B5 = x_{5b}	Y(31)= y_{31}
32	B1 = x_{1b}	B2 = x_{2b}	B3= x_{3b}	B4 = x_{4b}	B5 = x_{5b}	Y(32)= y_{32}

Для планов 2^2, 2^3, 2^4, 2^5 уравнения регрессии определяются исходя из соответствующих зависимостей:

$$y = a_0^{'} + a_{1n} \cdot x_{1n},$$

где $a_0' = c_0' \cdot x_0 + c_{2n} \cdot x_{2n}$, $a_{1n} = d_0' + d_{2n} \cdot x_{2n}$;

$$y = a_0^{'} + a_{1n} \cdot x_{1n}$$

где $a_0' = c_0' + c_{2n} \cdot x_{2n}$, $a_{1n} = d_0' + d_{2n} \cdot x_{2n}$, $c_0' = f_0' \cdot x_0 + f_{3n} \cdot x_{3n}$,

$c_{2n} = g_0' + g_{3n} \cdot x_{3n}$, $d_0' = k_0' + k_{3n} \cdot x_{3n}$, $d_{2n} = l_0' + l_{3n} \cdot x_{3n}$;

$$y = a_0^{'} + a_{1n} \cdot x_{1n},$$

где $a_0' = c_0' + c_{2n} \cdot x_{2n}$, $a_{1n} = d_0' + d_{2n} \cdot x_{2n}$,

$c_0' = f_0' \cdot x_0 + f_{3n} \cdot x_{3n}$, $c_{2n} = g_0' + g_{3n} \cdot x_{3n}$,

$d_0' = k_0' + k_{3n} \cdot x_{3n}$, $d_{2n} = l_0' + l_{3n} \cdot x_{3n}$,

$f_0' = m_0' + m_{4n} \cdot x_{4n}$, $f_{3n} = p_0' + p_{4n} \cdot x_{4n}$,

$g_0' = t_0' + t_{4n} \cdot x_{4n}$, $g_{3n} = v_0' + v_{4n} \cdot x_{4n}$,

$k_0' = r_0' + r_{4n} \cdot x_{4n}$, $k_{3n} = s_0' + s_{4n} \cdot x_{4n}$,

$l_0' = w_0' + w_{4n} \cdot x_{4n}$, $l_{3n} = h_0' + h_{4n} \cdot x_{4n}$;

$$y = a_0^{'} + a_{1n} \cdot x_{1n},$$

где $a_0' = c_0' + c_{2n} \cdot x_{2n}$, $a_{1n} = d_0' + d_{2n} \cdot x_{2n}$,

$c_0' = f_0' \cdot x_0 + f_{3n} \cdot x_{3n}$, $c_{2n} = g_0' + g_{3n} \cdot x_{3n}$,

$d_0' = k_0' + k_{3n} \cdot x_{3n}$, $d_{2n} = l_0' + l_{3n} \cdot x_{3n}$,

$f_0' = m_0' + m_{4n} \cdot x_{4n}$, $f_{3n} = p_0' + p_{4n} \cdot x_{4n}$,

$g_0' = t_0' + t_{4n} \cdot x_{4n}$, $g_{3n} = v_0' + v_{4n} \cdot x_{4n}$,

$k_0' = r_0' + r_{4n} \cdot x_{4n}$, $k_{3n} = s_0' + s_{4n} \cdot x_{4n}$,

$l_0' = w_0' + w_{4n} \cdot x_{4n}$, $l_{3n} = h_0' + h_{4n} \cdot x_{4n}$;

$m_0' = G_0' + G_{5n} \cdot x_{5n}$, $m_{4n} = D_0' + D_{5n} \cdot x_{5n}$,

$p_0' = H_0' + H_{5n} \cdot x_{5n}$, $p_{4n} = L_0' + L_{5n} \cdot x_{5n}$,

$t_0' = M_0' + M_{5n} \cdot x_{5n}$, $t_{4n} = P_0' + P_{5n} \cdot x_{5n}$,

$v_0' = Q_0' + Q_{5n} \cdot x_{5n}$, $v_{4n} = R_0' + R_{5n} \cdot x_{5n}$,

$r_0' = V_0' + V_{5n} \cdot x_{5n}$, $r_{4n} = W_0' + W_{5n} \cdot x_{5n}$,

$s_0' = T_0' + T_{5n} \cdot x_{5n}$, $s_{4n} = E_0' + E_{5n} \cdot x_{5n}$,

$w_0' = C_0' + C_{5n} \cdot x_{5n}$, $w_{4n} = F_0' + F_{5n} \cdot x_{5n}$,

$h_0' = K_0' + K_{5n} \cdot x_{5n}$, $h_{4n} = N_0' + N_{5n} \cdot x_{5n}$.

После подстановки, перемножений и замены коэффициентов получаются следующие полиномы для плана 2^2 (табл. 11):

$$y = b_0' \cdot x_0 + b_{1n} \cdot x_{1n} + b_{2n} \cdot x_{2n} + b_{1n,2n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n};$$

для плана 2^3 (табл. 12):

$$y = b_0' \cdot x_0 + b_{1n} \cdot x_{1n} + b_{2n} \cdot x_{2n} + b_{1n,2n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} + b_{3n} \cdot x_{3n} + b_{1n,3n} \cdot x_{1n} \cdot x_{3n} + b_{2n,3n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} +$$
$$+ b_{1n,2n,3n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n},$$

для плана 2^4 (табл. 13):

$$y = b_0' \cdot x_0 + b_{1n} \cdot x_{1n} + b_{2n} \cdot x_{2n} + b_{1n,2n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} + b_{3n} \cdot x_{3n} + b_{1n,3n} \cdot x_{1n} \cdot x_{3n} + b_{2n,3n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} +$$
$$+ b_{1n,2n,3n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} + b_{4n} \cdot x_{4n} + b_{1n,4n} \cdot x_{1n} \cdot x_{4n} + b_{2n,4n} \cdot x_{2n} \cdot x_{4n} + b_{1n,2n,4n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{4n} +$$
$$+ b_{3n,4n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n} + b_{1n,3n,4n} \cdot x_{1n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n} + b_{2n,3n,4n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n} + b_{1n,2n,3n,4n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n},$$

для плана 2^5 (табл. 14):

$$y = b_0' \cdot x_0 + b_{1n} \cdot x_{1n} + b_{2n} \cdot x_{2n} + b_{1n,2n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} + b_{3n} \cdot x_{3n} + b_{1n,3n} \cdot x_{1n} \cdot x_{3n} + b_{2n,3n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} +$$
$$+ b_{1n,2n,3n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} + b_{4n} \cdot x_{4n} + b_{1n,4n} \cdot x_{1n} \cdot x_{4n} + b_{2n,4n} \cdot x_{2n} \cdot x_{4n} + b_{1n,2n,4n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{4n} +$$
$$+ b_{3n,4n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n} + b_{1n,3n,4n} \cdot x_{1n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n} + b_{2n,3n,4n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n} + b_{1n,2n,3n,4n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n} +$$
$$+ b_{5n} \cdot x_{5n} + b_{1n,5n} \cdot x_{1n} \cdot x_{5n} + b_{2n,5n} \cdot x_{2n} \cdot x_{5n} + b_{1n,2n,5n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{5n} + b_{3n,5n} \cdot x_{3n} \cdot x_{5n} +$$
$$+ b_{1n,3n,5n} \cdot x_{1n} \cdot x_{3n} \cdot x_{5n} + b_{2n,3n,5n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} \cdot x_{5n} + b_{1n,2n,3n,5n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} \cdot x_{5n} + b_{4n,5n} \cdot x_{4n} \cdot x_{5n} +$$
$$+ b_{1n,4n,5n} \cdot x_{1n} \cdot x_{4n} \cdot x_{5n} + b_{2n,4n,5n} \cdot x_{2n} \cdot x_{4n} \cdot x_{5n} + b_{1n,2n,4n,5n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{4n} \cdot x_{5n} +$$
$$+ b_{3n,4n,5n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n} \cdot x_{5n} + b_{1n,3n,4n,5n} \cdot x_{1n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n} \cdot x_{5n} + b_{2n,3n,4n,5n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n} \cdot x_{5n} +$$
$$+ b_{1n,2n,3n,4n,5n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} \cdot x_{4n} \cdot x_{5n},$$

в которых y – показатель (параметр) процесса;

$x_0 = +1$; $x_{1n} = x_1^n + v_1$; $x_{2n} = x_2^n + v_2$; $x_{3n} = x_3^n + v_3$; $x_{4n} = x_4^n + v_4$; $x_{5n} = x_5^n + v_5$;

x_1, x_2. x_3. x_4, x_5 – 1, 2, 3, 4, 5-й факторы (независимые переменные);

n – изменяемое число показателя степени каждого фактора (n может равняться единице, быть больше или меньше 1);

v_1, v_2. v_3. v_4, v_5 – коэффициенты ортогонализации, определяемые при двух уровнях каждого m-го фактора по формуле (15).

Так как планирование ортогональное, то все коэффициенты регрессии и дисперсии в их определении рассчитываются независимо друг от друга.

Следующими, более сложным математическим моделированием может быть моделирование на основе планирования экспериментов на трех уровнях факторов.

При планировании экспериментов на трех уровнях независимых переменных предложено универсальное уравнение регрессии, в общем виде представляющее трехчлен

$$y = b'_o x_o + b_{mn} x_{mn} + b_{mr} x_{mr}; \qquad (18)$$

в котором y – показатель (параметр) процесса; $x_o = +1$;

$$x_{mn} = x^n{}_m + v_m; \qquad x_{mr} = x^r{}_m + a_m \cdot x^n{}_m + c_m;$$

m – порядковый номер фактора; x_m-m –й фактор (независимое переменное); n, r, – изменяемые числа показателей степени факторов; v_m, a_m, c_m – коэффициенты ортогонализации; b'_o, b_{mn}, b_{mr} – коэффициенты регрессии.

Для каждой величины m –го фактора x_{ma}, x_{mb}, x_{me} определяются соответственно параметры y_a, y_b, y_e. Графически зависимость показателя от трех факторов показана на рис. 9 (в общем виде).

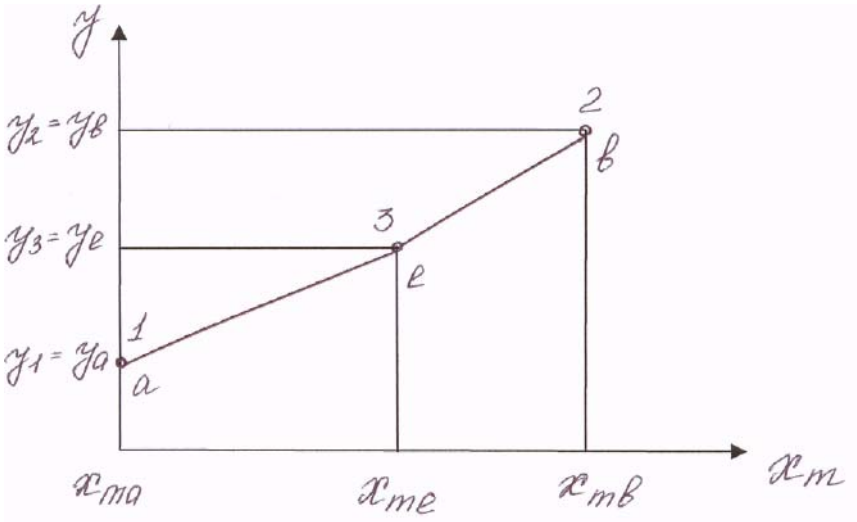


Рис. 9. Схема зависимости показателя от m-го фактора при планировании 3^1 (m – порядковый номер фактора)

В табл.15 представлена матрица планирования однофакторных экспериментов на трех уровнях независимых переменных.

Таблица 15

Матрица планирования однофакторных экспериментов на трех уровнях независимых переменных

№, u	Уровни факторов	x_o	x_{mn}	x_{mr}	y_u
1	*a*	+1	$x_{mn,1} = x_{mna}$	$x_{mr,1} = x_{mra}$	$y_1 = y_a$
2	*b*	+1	$x_{mn,2} = x_{mnb}$	$x_{mr,2} = x_{mrb}$	$y_2 = y_b$
3	*e*	+1	$x_{mn,3} = x_{mre}$	$x_{mr,3} = x_{mre}$	$y_3 = y_e$

В матрице планирования экспериментов (табл.15):

$x_{mna} = x^n_{ma} + v_m$; $x_{mnb} = x^n_{mb} + v_m$;

$x_{mne} = x^n_{me} + v_m$; $x_{mra} = x^r_{ma} + a_m \cdot x^n_{ma} + c_m$;

$x_{mrb} = x^r_{mb} + a_m \cdot x^n_{mb} + c_m$; $x_{mre} = x^r_{me} + a_m \cdot x^n_{me} + c_m$.

Для сокращения дальнейших записей введены следующие обозначения средних арифметических величин:

$$\overline{x_m^n} = \frac{1}{3}\left(x_{ma}^n + x_{mb}^n + x_{me}^n\right);$$

$$\overline{x_m^r} = \frac{1}{3}\left(x_{ma}^r + x_{mb}^r + x_{me}^r\right);$$

$$\overline{x_m^{2n}} = \frac{1}{3}\left(x_{ma}^{2n} + x_{mb}^{2n} + x_{me}^{2n}\right);$$

$$\overline{x_m^{n+r}} = \frac{1}{3}\left(x_{ma}^{n+r} + x_{mb}^{n+r} + x_{me}^{n+r}\right);$$

$$\overline{x_m} = \frac{1}{3}\left(x_{ma} + x_{mb} + x_{me}\right);$$

Ортогональность матрицы планирования (см.табл.15) обеспечивается в том случае, если

$x_{mna} + x_{mnb} + x_{mne} = 0$,

$x_{mra} + x_{mrb} + x_{mre} = 0$,

$x_{mna} \cdot x_{mra} + x_{mnb} \cdot x_{mrb} + x_{mne} \cdot x_{mre} = 0$.

После подстановки в уравнения системы значений слагаемых и сомножителей, замены получаемых сумм средними арифметическими величинами и сокращения одинаковых величин получается система из трех уравнений, по которой определяются три коэффициента ортогонализации.

$$x_{ma}^n + v_m + x_{mb}^n + v_m + x_{me}^n + v_m = 0;$$

$$3 \cdot v_m = -\left(x_{ma}^n + x_{mb}^n + x_{me}^n\right);$$

$$v_m = -\frac{1}{3} \cdot \left(x_{ma}^n + x_{mb}^n + x_{me}^n\right) = -\overline{x_m^n};$$

$$\boxed{v_m = -\overline{x_m^n}}.$$

$$x_{ma}^r + a_m \cdot x_{ma}^n + c_m + x_{mb}^r + a_m \cdot x_{mb}^n + c_m +$$

$$+ x_{me}^r + a_m \cdot x_{me}^n + c_m = 0;$$

$$\left(x_{ma}^r + x_{mb}^r + x_{me}^r\right) + a_m \cdot \left(x_{ma}^n + x_{mb}^n + x_{me}^n\right) +$$

$$+ 3 \cdot c_m = 0;$$

$$c_m = -\frac{1}{3}\cdot\left(x_{ma}^r + x_{mb}^r + x_{mc}^r\right) -$$

$$- a_m \cdot \frac{1}{3}\cdot\left(x_{ma}^n + x_{mb}^n + x_{mc}^n\right) =$$

$$= -\overline{x_m^r} - a_m\cdot\overline{x_m^n} = -\left(\overline{x_m^r} + a_m\cdot\overline{x_m^n}\right);$$

$$\underline{c_m = -\left(\overline{x_m^r} + a_m\cdot\overline{x_m^n}\right)}\ .$$

$$\left(x_{ma}^n + v_m\right)\cdot\left(x_{ma}^r + a_m\cdot x_{ma}^n + c_m\right) + \ldots = 0;$$

$$x_{ma}^{n+r} + a_m\cdot x_{ma}^{2\cdot n} + c_m\cdot x_{ma}^n + v_m\cdot x_{ma}^r + a_m\cdot v_m\cdot x_{ma}^n +$$

$$+ c_m\cdot v_m + \ldots = 0;$$

$$\overline{x_m^{n+r}} + a_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot n}} + c_m\cdot\overline{x_m^n} + v_m\cdot\overline{x_m^r} + a_m\cdot v_m\cdot\overline{x_m^n} +$$

$$+ c_m\cdot v_m = 0;$$

$$v_m = -\overline{x_m^n};$$

$$\overline{x_m^{n+r}} + a_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot n}} + \underline{c_m\cdot\overline{x_m^n}} + \left(-\overline{x_m^n}\right)\cdot\overline{x_m^r} +$$

$$+ a_m\cdot\left(-\overline{x_m^n}\right)\cdot\overline{x_m^n} + \underline{c_m\cdot\left(-\overline{x_m^n}\right)} = 0;$$

$$a_m\cdot\left(\overline{x_m^{2\cdot n}} - \left(\overline{x_m^n}\right)^2\right) = \overline{x_m^n}\cdot\overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}};$$

$$\underline{a_m = \frac{\overline{x_m^n}\cdot\overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}}}{\overline{x_m^{2\cdot n}} - \left(\overline{x_m^n}\right)^2}}\ .$$

$$v_m = -\overline{x_m^n}; \tag{19}$$

$$a_m = \frac{\overline{x_m^n}\cdot\overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}}}{\overline{x_m^{2n}} - \left(\overline{x_m^n}\right)^2}; \tag{20}$$

$$c_m = -\left(\overline{x_m^r} + a_m\cdot\overline{x_m^n}\right)\ . \tag{21}$$

Полученные выше зависимости предназначены для приближенных вычислений на ЭВМ.

Подстановка в уравнение (18) и в матрицу планирования (см.табл.15) рассчитанных по формулам (19) – (21) величин коэффициентов ортогонализации обеспечивает ортогональность планирования экспериментов на трех асимметричных уровнях факторов.

В связи с ортогональным планированием коэффициенты регрессии уравнения (18) и дисперсии в определении коэффициентов регрессии рассчитываются независимо друг от друга по формулам:

$$b_o^{'} = \frac{\sum_{u=1}^{3} x_{o,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{3} x_{o,u}^2} = \frac{1}{3} \cdot \sum_{u=1}^{3} y_u = \frac{1}{3} \cdot \left(y_a + y_b + y_e \right) ; \qquad (22)$$

$$b_{mn} = \frac{\sum_{u=1}^{3} x_{mn,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{3} x_{mn,u}^2} = \frac{\left(x_{mna} \cdot y_a + x_{mnb} \cdot y_b + x_{mne} \cdot y_e \right)}{x_{mna}^2 + x_{mnb}^2 + x_{mne}^2}; \qquad (23)$$

$$b_{mr} = \frac{\sum_{u=1}^{3} x_{mr,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{3} x_{mr,u}^2} = \frac{\left(x_{mra} \cdot y_a + x_{mrb} \cdot y_b + x_{mre} \cdot y_e \right)}{x_{mra}^2 + x_{mrb}^2 + x_{mre}^2} \quad ; \qquad (24)$$

$$s^2\left\{b_0^{'}\right\} = \frac{1}{3} \cdot s^2\{y\}; \qquad (25)$$

$$s^2\{b_{mn}\} = s^2\{y\} / \left(x_{mna}^2 + x_{mnb}^2 + x_{mne}^2 \right); \qquad (26)$$

$$s^2\{b_{mr}\} = s^2\{y\} / \left(x_{mra}^2 + x_{mrb}^2 + x_{mre}^2 \right), \qquad (27)$$

где $s^2\{y\}$ - дисперсия опытов; $s^2\{b'_o\}$, $s^2\{b_{mn}\}$, $s^2\{b_{mr}\}$, – дисперсии в определении соответствующих коэффициентов регрессии b'_o, b_{mn}, b_{mr}.

В многочлене (18) последующий член имеет на один коэффициент ортогонализации больше, чем предыдущий член. Так, второй член имеет один коэффициент ортогонализации, третий член – два коэффициента ортогонализации. Важной особенностью уравнения регрессии (18) и матрицы планирования (см.табл.15) является их универсальность в связи с возможностью изменения чисел показателей степени факторов и перехода в частном случае к планированию на двух уровнях факторов.

Математические модели процессов сначала следует выявлять при показателях степени факторов n=1, r=2, а если при этом математические модели не обеспечивают требуемой точности, то показатели степени факторов необходимо изменять, добиваясь требуемой точности.

Применяя графические построения можно найти максимумы или минимумы этих функций.

На рис. 10 представлена в общем виде графическая зависимость показателя от двух факторов.

Если записать в виде таблицы координаты точек 1-9 (рис. 10), то получается план проведения двухфакторных экспериментов на трех, и, в частном случае, двух уровнях независимых переменных (табл. 16).

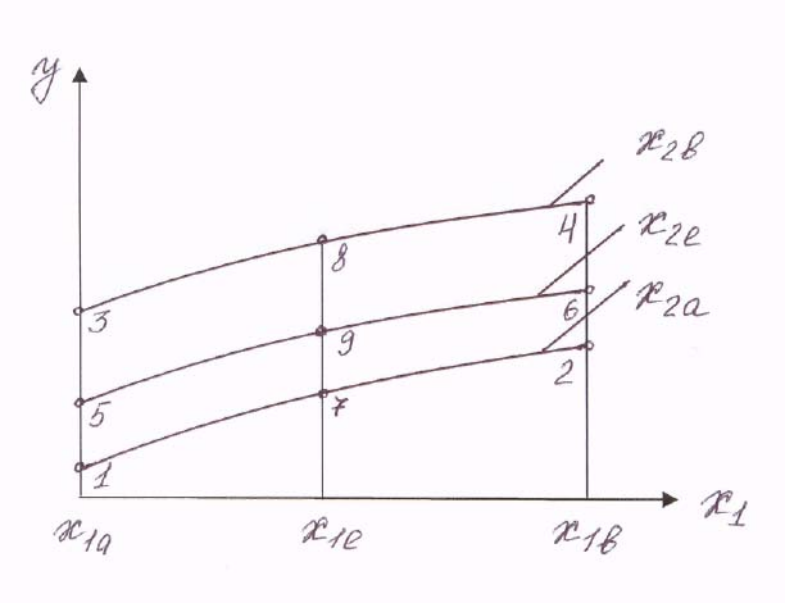


Рис.10. Зависимость показателя от двух факторов

Таблица 16

Планы проведения двухфакторных экспериментов 3^2, 2^2

План		№, u	$x_{1,u}$	$x_{2,u}$	y_u
3^2	2^2	1	$x_{1,1}=x_{1a}$	$x_{2,1}=x_{2a}$	y_1
		2	$x_{1,2}=x_{1b}$	$x_{2,2}=x_{2a}$	y_2
		3	$x_{1,3}=x_{1a}$	$x_{2,3}=x_{2b}$	y_3
		4	$x_{1,4}=x_{1b}$	$x_{2,4}=x_{2b}$	y_4
		5	$x_{1,5}=x_{1a}$	$x_{2,5}=x_{2e}$	y_5
		6	$x_{1,6}=x_{1b}$	$x_{2,6}=x_{2e}$	y_6
		7	$x_{1,7}=x_{1e}$	$x_{2,7}=x_{2a}$	y_7
		8	$x_{1,8}=x_{1e}$	$x_{2,8}=x_{2b}$	y_8
		9	$x_{1,9}=x_{1e}$	$x_{2,9}=x_{2e}$	y_9

Для плана 3^2 уравнение регрессии определяются исходя из соответствующих зависимостей:

$$y = a'_o + a_{1n} \cdot x_{1n} + a_{1r} \cdot x_{1r};$$
$$\text{где } a'_o = c'_o \cdot x_o + c_{2n} \cdot x_{2n} + c_{2r} \cdot x_{2r};$$
$$a_{1n} = d'_o + d_{2n} \cdot x_{2n} + d_{2r} \cdot x_{2r};$$
$$a_{1r} = e'_o + e_{2n} \cdot x_{2n} + e_{2r} \cdot x_{2r}.$$

После подстановки, перемножений и замены коэффициентов получается следующий полином для плана 3^2 (табл. 16):

$$y = b'_o \cdot x_o + b_{1n} \cdot x_{1n} + b_{2n} \cdot x_{2n} + b_{1n,2n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} + b_{1r} \cdot x_{1r} + \\ + b_{2r} \cdot x_{2r} + b_{1n,2r} \cdot x_{1n} \cdot x_{2r} + b_{2n,1r} \cdot x_{2n} \cdot x_{1r} + b_{1r,2r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2r} \qquad (28)$$

В уравнении регрессии (28) y - показатель (параметр) процесса;

$x_o = +1$; $x_{1n} = x^n_1 + v_1$;

$x_{1r} = x^r_1 + a_1 \cdot x^n_1 + c_1$;

$x_{2n} = x^n_2 + v_2$;

$x_{2r} = x^r_2 + a_2 \cdot x^n_2 + c_2$;

x_1, x_2 -1, 2-й факторы (независимые переменные); n, r,- изменяемые числа показателей степени факторов; v_1, a_1, c_1 - коэффициенты ортогонации, определяемые при трех уровнях 1-го фактора, m = 1 по формулам (19)-(21);

v_2, a_2, c_2 - коэффициенты ортогонализации, определяемые при трех уровнях 2-го фактора, m=2 по формулам (19)-(21);

b_0', b_{1n}, b_{2n}, $b_{1n,2n}$, b_{1r}, b_{2r}, $b_{1n,2r}$, $b_{2n,1r}$, $b_{1r,2r}$, - коэффициенты регрессии. Для уровней a, b, e факторы имеют следующие обозначения: x_{1a}, x_{1b}, x_{1e}, x_{2a}, x_{2b}, x_{2e}.

В связи с ортогональным планированием все коэффициенты регрессии и дисперсии в их определении рассчитываются независимо друг от друга. Формулы для расчета коэффициентов регрессии уравнения (28) имеют следующий вид:

$$b_0' = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{o,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{o,u}^2} = \frac{\sum_{u=1}^{N} y_u}{N}; \quad b_{1n} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u}^2};$$

$$b_{2n} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{2n,u}^2}; \qquad b_{1n,2n} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot x_{2n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1n,u} \cdot x_{2n,u})^2};$$

$$b_{1r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{1r,u}^2}; \qquad b_{2r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{2r,u}^2};$$

$$b_{1n,2r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1n,u} \cdot x_{2r,u})^2}; \quad b_{2n,1r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2n,u} \cdot x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{2n,u} \cdot x_{1r,u})^2};$$

$$b_{1r,2r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1r,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1r,u} \cdot x_{2r,u})^2};$$

где

$$x_{1n,u} = x^n_{1,u} + v_1; \; x_{1r,u} = x^r_{1,u} + a_1 \cdot x^n_{1,u} + c_1;$$
$$x_{2n,u} = x^n_{2,u} + v_2; \; x_{2r,u} = x^r_{2,u} + a_2 \cdot x^n_{2,u} + c_2;$$

N – количество опытов в соответствующем уравнению регрессии плане проведения экспериментов, т.е. $N = 9$ при планировании 3^2.

Выполняется расчет тех коэффициентов регрессии, которые входят в рассматриваемое уравнение регрессии.

Если числитель (делимое) каждой из формул для расчета коэффициентов регрессии заменить величиной дисперсии опытов $s^2\{y\}$, а знаменатель (делитель) оставить прежним, то получаются формулы для расчета дисперсий в определении соответствующих коэффициентов регрессии $s^2\{b'_0\}$, $s^2\{b_{1n}\}$, $s^2\{b_{2n}\}$, $s^2\{b_{1n,2n}\}$, $s^2\{b_{1r}\}$, $s^2\{b_{2r}\}$, $s^2\{b_{1n,2r}\}$, $s^2\{b_{2n,1r}\}$, $s^2\{b_{1r,2r}\}$.

Сначала следует принимать $n = 1$, $r = 2$ и при этих числах показателей степени факторов производить расчет коэффициентов регрессии, дисперсий в их определении, выявлять статистически значимые коэффициенты регрессии. Математическая модель процесса получается после подстановки в уравнение регрессии статистически значимых и не равных нулю коэффициентов регрессии. Если при проверке выясняется, что математическая модель не обеспечивает требуемой точности, то следует изменить величины показателей степени факторов и основа выполнять расчеты, пока не будет достигнута требуемая точность.

По мере увеличения количества факторов, влияющих на показатель процесса, математическое моделирование усложняется.

Если три фактора будут влиять на показатель процесса и необходимо выполнять полный факторный эксперимент, то опыты надо проводить по плану 3^3 (табл. 17).

Применительно к плану 3^3 (табл. 17) упрощенно представлены построения (рис.11) на многограннике – кубе, имеющем 6 граней, 12 ребер, 8 вершин. В каждой вершине сходятся три ребра. Боковые грани куба образованы плоскостями, проходящими через x_{1a}, x_{1b}, передняя грань образована плоскостью, проходящей через x_{2b}, а задняя – плоскостью, проходящей через x_{2a}. Нижняя грань куба образована плоскостью, проходящей через x_{3a}, а верхняя – плоскостью, проходящей через x_{3b}. Куб условно разрезан на 8 частей тремя плоскостями, проходящими через x_{1e}, x_{2e}, x_{3e}. В восьми вершинах куба образовалось 8 точек (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8), что приемлемо для планирования 2^3, а в местах пересечения плоскостей (на линиях пересечения) получилось еще 19 точек, т.е. в сумме стало 27 точек и создалась возможность планировать 3^3. Координаты точек рис. 3 представлены в табл. 3 в виде планов 2^3, 3^3 (номера точек на рис. 11 и номера строк в табл. 17 совпадают). План 2^3 является выборкой из плана 3^3.

На рис. 12 показано трехмерное изображение зависимости показателя от величин первого, второго, третьего фактора. Построения на рис. 11 свидетельствуют о том, что полный факторный эксперимент и математическое моделирование при планировании 3^3 возможны, если планом будет предусмотрено выполнение 27 экспериментов при неповторяющейся комбинации величин факторов (см. табл. 17).

Для плана 3^3 уравнение регрессии определяется исходя из следующей зависимости:

$$y = a'_o + a_{1n} \cdot x_{1n} + a_{1r} \cdot x_{1r},$$

где $a'_o = c'_o + c_{2n} \cdot x_{2n} + c_{2r} \cdot x_{2r}$; $a_{1n} = d'_o + d_{2n} \cdot x_{2n} + d_{2r} \cdot x_{2r}$;

$a_{1r} = e'_o + e_{2n} \cdot x_{2n} + e_{2r} \cdot x_{2r}$; $c'_o = f'_o x_o + f_{3n} \cdot x_{3n} + f_{3r} \cdot x_{3r}$;

$c_{2n} = q'_o + q_{3n} \cdot x_{3n} + q_{3r} \cdot x_{3r}$; $c_{2r} = h'_o + h_{3n} \cdot x_{3n} + h_{3r} \cdot x_{3r}$;

$d'_o = k'_o + k_{3n} \cdot x_{3n} + k_{3r} \cdot x_{3r}$; $d_{2n} = l'_o + l_{3n} \cdot x_{3n} + l_{3r} \cdot x_{3r}$;

$d_{2r} = m'_o + m_{3n} \cdot x_{3n} + m_{3r} \cdot x_{3r}$; $e'_o = p'_o + p_{3n} \cdot x_{3n} + p_{3r} \cdot x_{3r}$;

$e_{2n} = t'_o + t_{3n} \cdot x_{3n} + t_{3r} \cdot x_{3r}$; $e_{2r} = v'_o + v_{3n} \cdot x_{3n} + v_{3r} \cdot x_{3r}$.

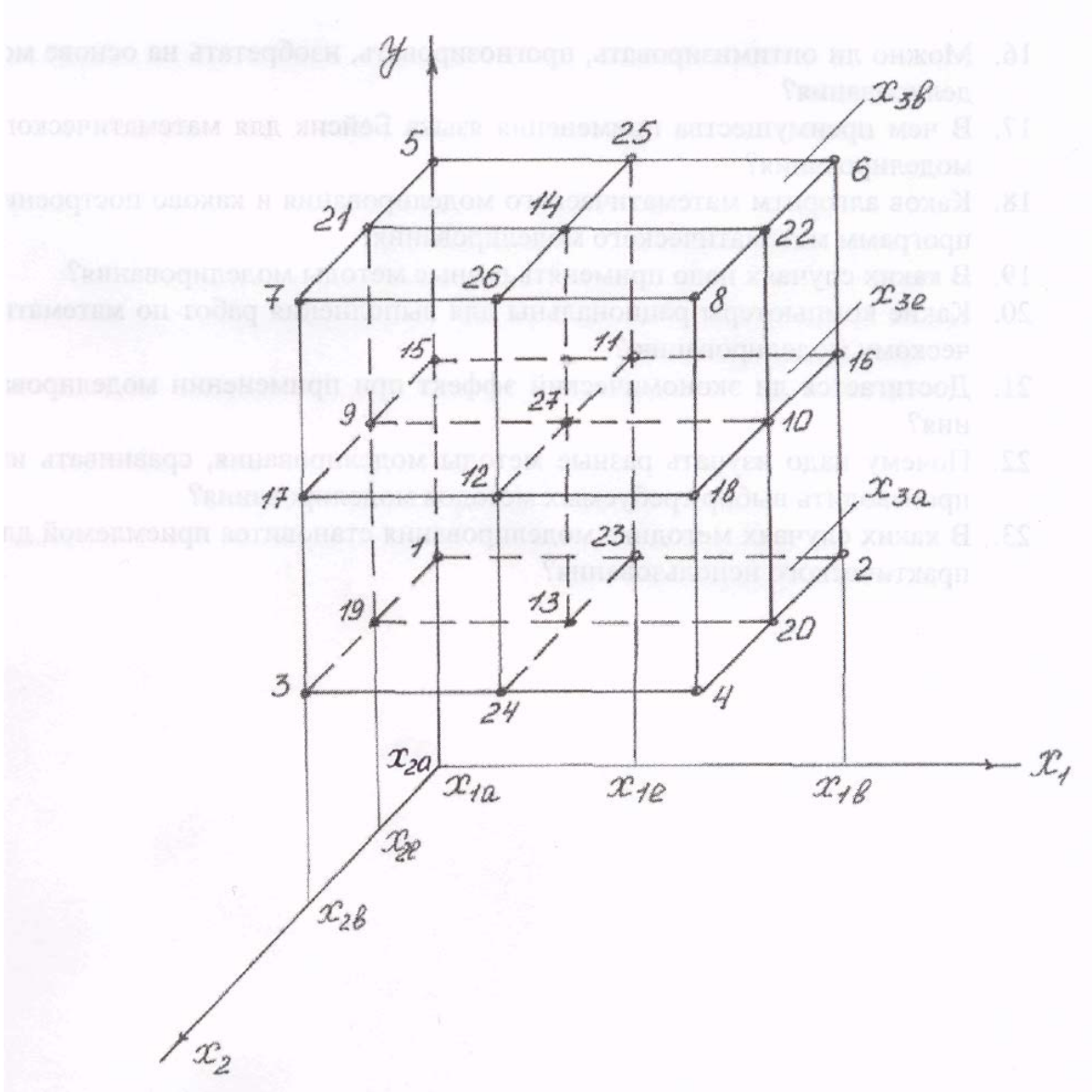


Рис. 11. Схема пространственного расположения точек, соответствующих номерам строк планов 2^3 , 3^3 : в точке 1 величина y_1 при x_{1a}, x_{2a}, x_{3a}; в точке 2 величина y_2 при x_{1b}, x_{2a}, x_{3a} и т.д.(см.табл.17)

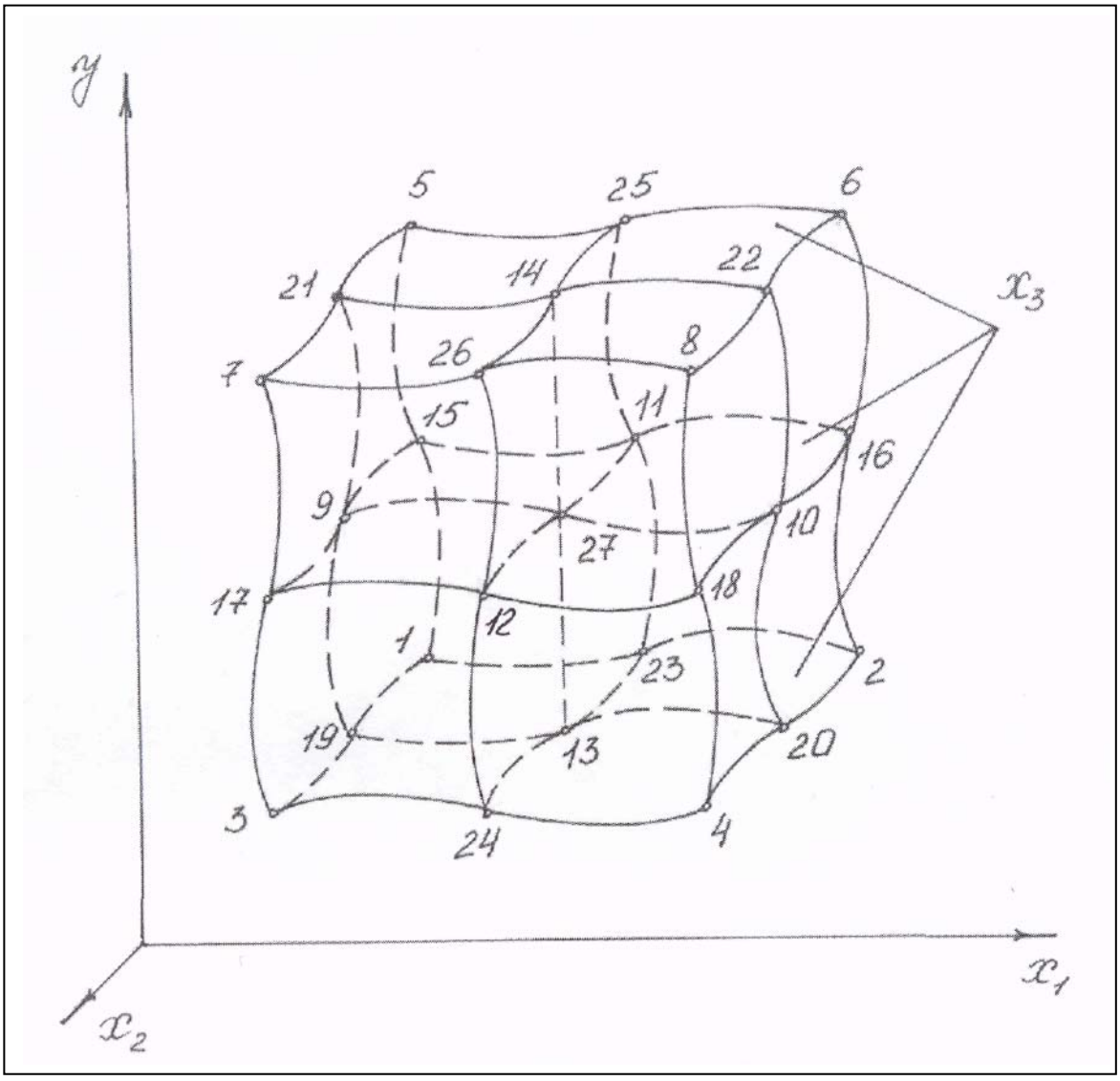


Рис. 12. Трехмерное изображение сложной зависимости показателя от величин первого, второго, третьего фактора

Таблица 17

План проведения экспериментов 3^3 и выборка 2^3

План	№, u	$x_{1,u}$	$x_{2,u}$	$x_{3,u}$	y_u
2^3	1	$x_{1,1}=x_{1a}$	$x_{2,1}=x_{2a}$	$x_{3,1}=x_{3a}$	y_1
	2	$x_{1,2}=x_{1b}$	$x_{2,2}=x_{2a}$	$x_{3,2}=x_{3a}$	y_2
	3	$x_{1,3}=x_{1a}$	$x_{2,3}=x_{2b}$	$x_{3,3}=x_{3a}$	y_3
	4	$x_{1,4}=x_{1b}$	$x_{2,4}=x_{2b}$	$x_{3,4}=x_{2a}$	y_4
	5	$x_{1,5}=x_{1a}$	$x_{2,5}=x_{2a}$	$x_{3,5}=x_{2b}$	y_5
	6	$x_{1,6}=x_{1b}$	$x_{2,6}=x_{2a}$	$x_{3,6}=x_{2b}$	y_6
	7	$x_{1,7}=x_{1a}$	$x_{2,7}=x_{2b}$	$x_{3,7}=x_{3b}$	y_7
	8	$x_{1,8}=x_{1b}$	$x_{2,8}=x_{2b}$	$x_{3,8}=x_{3b}$	y_8
3^3	9	$x_{1,9}=x_{1a}$	$x_{2,9}=x_{2e}$	$x_{3,9}=x_{3e}$	y_9
	10	$x_{1,10}=x_{1b}$	$x_{2,10}=x_{2e}$	$x_{3,10}=x_{3e}$	y_{10}
	11	$x_{1,11}=x_{1e}$	$x_{2,11}=x_{2a}$	$x_{3,11}=x_{3e}$	y_{11}
	12	$x_{1,12}=x_{1e}$	$x_{2,12}=x_{2b}$	$x_{3,12}=x_{3e}$	y_{12}
	13	$x_{1,13}=x_{1e}$	$x_{2,13}=x_{2e}$	$x_{3,13}=x_{3a}$	y_{13}
	14	$x_{1,14}=x_{1e}$	$x_{2,14}=x_{2e}$	$x_{3,14}=x_{3b}$	y_{14}
	15	$x_{1,15}=x_{1a}$	$x_{2,15}=x_{2a}$	$x_{3,15}=x_{3e}$	y_{15}
	16	$x_{1,16}=x_{1b}$	$x_{2,16}=x_{2a}$	$x_{3,16}=x_{3e}$	y_{16}
	17	$x_{1,17}=x_{1a}$	$x_{2,17}=x_{2b}$	$x_{3,17}=x_{3e}$	y_{17}
	18	$x_{1,18}=x_{1b}$	$x_{2,18}=x_{2b}$	$x_{3,18}=x_{3e}$	y_{18}
	19	$x_{1,19}=x_{1a}$	$x_{2,19}=x_{2e}$	$x_{3,19}=x_{3a}$	y_{19}
	20	$x_{1,20}=x_{1b}$	$x_{2,20}=x_{2e}$	$x_{3,20}=x_{3a}$	y_{20}
	21	$x_{1,21}=x_{1a}$	$x_{2,21}=x_{2e}$	$x_{3,21}=x_{3b}$	y_{21}
	22	$x_{1,22}=x_{1b}$	$x_{2,22}=x_{2e}$	$x_{3,22}=x_{3b}$	y_{22}
	23	$x_{1,23}=x_{1e}$	$x_{2,23}=x_{2a}$	$x_{3,23}=x_{3a}$	y_{23}
	24	$x_{1,24}=x_{1e}$	$x_{2,24}=x_{2b}$	$x_{3,24}=x_{3a}$	y_{24}
	25	$x_{1,25}=x_{1e}$	$x_{2,25}=x_{2a}$	$x_{3,25}=x_{3b}$	y_{25}
	26	$x_{1,25}=x_{1e}$	$x_{2,26}=x_{2b}$	$x_{3,26}=x_{3b}$	y_{26}
	27	$x_{1,25}=x_{1e}$	$x_{2,27}=x_{2e}$	$x_{3,27}=x_{3e}$	y_{27}

После подстановки, перемножений и замены коэффициентов для ортогонального планирования трехфакторных экспериментов на трех уровнях независимых переменных (табл. 17) получается уравнение регрессии:

$$y = b'_0 \cdot x_0 + b_{1n} \cdot x_{1n} + b_{2n} \cdot x_{2n} + b_{3n} \cdot x_{3n} + b_{1n,2n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} + b_{1n,3n} \cdot x_{1n} \cdot x_{3n} + b_{2n,3n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} + b_{1n,2n,3n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} + b_{1r} \cdot x_{1r} + b_{2r} \cdot x_{2r} + b_{3r} \cdot x_{3r} + b_{1n,2r} \cdot x_{1n} \cdot x_{2r} + b_{1n,3r} \cdot x_{1n} \cdot x_{3r} + b_{2n,1r} \cdot x_{2n} \cdot x_{1r} + b_{2n,3r} \cdot x_{2n} \cdot x_{3r} + b_{3n,1r} \cdot x_{3n} \cdot x_{1r} + b_{3n,2r} \cdot x_{3n} \cdot x_{2r} + b_{1n,2n,3r} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} \cdot x_{3r} + b_{1n,\ 3n\ ,2r} \cdot x_{1n} \cdot x_{3n} \cdot x_{2r} + b_{2n,\ 3n,1r,} \cdot x_{2n} \cdot x_{3n} \cdot x_{1r} + b_{1r,2r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2r} + b_{1r,3r} \cdot x_{1r} \cdot x_{3r} + b_{2r,3r} \cdot x_{2r} \cdot x_{3r} + b_{1n,2r,3r} \cdot x_{1n} \cdot x_{2r} \cdot x_{3r} + b_{2n,1r,3r} \cdot x_{2n} \cdot x_{1r} \cdot x_{3r} + b_{3n,1r,2r} \cdot x_{3n} \cdot x_{1r} \cdot x_{2r} + b_{1r,2r,3r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2r} \cdot x_{3r}, \quad (29)$$

в котором у – показатель (параметр) процесса;

$x_o = +1;\ x_{1n} = x^n_1 + v_1;$

$x_{1r} = x^r_1 + a_1 \cdot x^n_1 + c_1;\ x_{2n} = x^n_2 + v_2;$

$x_{2r} = x^r_2 + a_2 \cdot x^n_2 + c_2;$

$x_{3n} = x^n_3 + v_3;\ x_{3r} = x^r_3 + a_3 \cdot x^n_3 + c_3;$

$x_1,\ x_2,\ x_3$ –1, 2, 3-й факторы (независимые переменные); $n,\ r$ – изменяемые числа показателей степени факторов; $v_1,\ a_1,\ c_1$ – коэффициенты ортогонализации, определяемые при трех уровнях 1-го фактора, $m = 1$ по формулам (19) – (21); $v_2,\ a_2,\ c_2$ – коэффициенты ортогонализации, определяемые при трех уровнях 2-го фактора, $m = 2$ – по формулам (19) – (21); $v_3,\ a_3,\ c_3$ – коэффициенты ортогонализации, определяемые при трех уровнях 3-го фактора, $m = 3$ – по формулам (19) – (21);

$b_0',\ b_{1n},\ b_{2n},\ b_{3n},b_{1n,2n},\ b_{1n,3n},\ b_{2n,3n},\ b_{1n,2n,3n},\ b_{1r},\ b_{2r},\ b_{3r},\ b_{1n,2r},\ b_{1n,3r},\ b_{2n,1r},\ b_{2n,3r},\ b_{3n,1r},\ b_{3n,2r},\ b_{1n,2n,3r},\ b_{1n,3n,2r},\ b_{2n,3n,1r},\ b_{1r,2r},\ b_{1r,3r},\ b_{2r,3r},\ b_{1n,2r,3r},\ b_{2n,1r,3r},\ b_{3n,1r,2r},\ b_{1r,2r,3r}$ - коэффициенты регрессии. Факторы обозначены - $x_{1a},\ x_{1b},\ x_{1e},\ x_{2a},\ x_{2b},\ x_{2e},\ x_{3a},\ x_{3b},\ x_{3e}$.

Так как планирование ортогональное, то все коэффициенты регрессии и дисперсии в их определении рассчитываются независимо друг от друга. Для уравнения (29), соответствующего плану 3^3 (см.табл.17), расчет коэффициентов регрессии производится по следующим формулам:

$$b'_0 = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{o,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x^2_{o,u}} = \frac{\sum_{u=1}^{N} y_u}{N};\quad b_{1n} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x^2_{1n,u}};$$

$$b_{2n} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{2n,u}^2}; \qquad b_{3n} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{3n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{3n,u}^2};$$

$$b_{1n,2n} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot x_{2n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1n,u} \cdot x_{2n,u})^2}; \qquad b_{1n,3n} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot x_{3n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1n,u} \cdot x_{3n,u})^2};$$

$$b_{2n,3n} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2n,u} \cdot x_{3n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{2n,u} \cdot x_{3n,u})^2}; \quad b_{1n,2n,3n} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot x_{2n,u} \cdot x_{3n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1n,u} \cdot x_{2n,u} \cdot x_{3n,u})^2};$$

$$b_{1r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{1r,u}^2}; \qquad b_{2r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{2r,u}^2};$$

$$b_{3r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{3r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{3r,u}^2}; \qquad b_{1n,2r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1n,u} \cdot x_{2r,u})^2};$$

$$b_{1n,3r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot x_{3r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1n,u} \cdot x_{3r,u})^2}; \qquad b_{2n,1r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2n,u} \cdot x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{2n,u} \cdot x_{1r,u})^2};$$

$$b_{2n,3r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2n,u} \cdot x_{3r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{2n,u} \cdot x_{3r,u})^2}; \qquad b_{3n,1r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{3n,u} \cdot x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{3n,u} \cdot x_{1r,u})^2};$$

$$b_{3n,2r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{3n,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{3n,u} \cdot x_{2r,u})^2}; \; b_{1n,2n,3r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot x_{2n,u} \cdot x_{3r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1n,u} \cdot x_{2n,u} \cdot x_{3r,u})^2};$$

$$b_{1n,3n,2r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot x_{3n,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1n,u} \cdot x_{3n,u} \cdot x_{2r,u})^2};$$

$$b_{2n,3n,1r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2n,u} \cdot x_{3n,u} \cdot x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{2n,u} \cdot x_{3n,u} \cdot x_{1r,u})^2};$$

$$b_{1r,2r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1r,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1r,u} \cdot x_{2r,u})^2}; \quad b_{1r,3r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1r,u} \cdot x_{3r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1r,u} \cdot x_{3r,u})^2};$$

$$b_{2r,3r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2r,u} \cdot x_{3r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{2r,u} \cdot x_{3r,u})^2}; \; b_{1n,2r,3r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot x_{2r,u} \cdot x_{3r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1n,u} \cdot x_{2r,u} \cdot x_{3r,u})^2};$$

$$b_{2n,1r,3r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2n,u} \cdot x_{1r,u} \cdot x_{3r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{2n,u} \cdot x_{1r,u} \cdot x_{3r,u})^2};$$

$$b_{3n,1r,2r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{3n,u} \cdot x_{1r,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{3n,u} \cdot x_{1r,u} \cdot x_{2r,u})^2};$$

$$b_{1r,2r,3r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1r,u} \cdot x_{2r,u} \cdot x_{3r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1r,u} \cdot x_{2r,u} \cdot x_{3r,u})^2};$$

где

$$x_{1n,u} = x^{n}_{1,u}+v_1;\ x_{1r,u}=x^{r}_{1,u}+a_1 x^{n}_{1,u}+c_1;$$
$$x_{2n,u} = x^{n}_{2,u}+v_2;\ x_{2r,u}=x^{r}_{2,u}+a_2 x^{n}_{2,u}+c_2;$$
$$x_{3n,u} = x^{n}_{3,u}+v_3;\ x_{3r,u}=x^{r}_{3,u}+a_3 x^{n}_{3,u}+c_3;$$

N – количество опытов в соответствующем уравнению регрессии (29) плане 3^3 (см.табл.17), т.е. N = 27.

В формулы подставляются данные от 1-го до 27-го опыта плана 3^3 (табл.3). При замене числителя (делимого) в каждой из этих формул величиной дисперсии опытов $s^2\{y\}$ и прежнем знаменателе (делителе) получаются формулы для расчета дисперсий в определении соответствующих коэффициентов регрессии $s^2\{b'_0\}$, $s^2\{b_{1n}\}$, $s^2\{b_{2n}\}$, $s^2\{b_{3n}\}$, $s^2\{b_{1n,2n}\}$, $s^2\{b_{1n,3n}\}$, $s^2\{b_{2n,3n}\}$, $s^2\{b_{1n,2n,3n}\}$, $s^2\{b_{1r}\}$, $s^2\{b_{2r}\}$, $s^2\{b_{3r}\}$, $s^2\{b_{1n,2r}\}$, $s^2\{b_{1n,3r}\}$, $s^2\{b_{2n,1r}\}$, $s^2\{b_{2n,3r}\}$, $s^2\{b_{3n,1r}\}$, $s^2\{b_{3n,2r}\}$, $s^2\{b_{1n,2n,3r}\}$, $s^2\{b_{1n,3n,2r}\}$, $s^2\{b_{2n,3n,1r}\}$, $s^2\{b_{1r,2r}\}$, $s^2\{b_{1r,3r}\}$, $s^2\{b_{2r,3r}\}$, $s^2\{b_{1n,2r,3r}\}$, $s^2\{b_{2n,1r,3r}\}$, $s^2\{b_{3n,1r,2r}\}$, $s^2\{b_{1r,2r,3r}\}$.

Выявление математической модели следует начинать при условии, что $n = 1$, $r = 2$. Если проверка покажет, что математическая модель не обеспечивает требуемой точности, то необходимо изменять величины показателей степени факторов, добиваясь требуемо точности.

Планирование экспериментов и математическое моделирование эффективны, если учитываются существенные факторы, влияющие на показатели процесса, и математические модели с требуемой точностью выявляются при выполнении минимального количества опытов.

На показатели процесса могут оказывать влияние много факторов, что приводит к снижению эффективности полного факторного эксперимента, так как с увеличением количества факторов необходимо увеличивать количество экспериментов, в связи с чем повышаются затраты. Кроме того, даже при применении современной вычислительной техники сложные расчеты выполняются с округлением величин, а это приводит к снижению точности сложных математических моделей (при количестве факторов 3 эти неточности незначительны).

На основе планов 2·к + 1, где к – количество факторов, действующих на показатель процесса, разработано более простое математическое моделирование, которое рационально применять в начальный период проведения исследований или когда к > 3 и проведение полного факторного эксперимента затруднительно.

При планировании 2·к – 1, если количество факторов к = 2, к = 3, к = 4, к = 5, к = 6, к = 7, то по планам надо соответственно выполнять экспериментов 2·2 + 1 = 5; 2·3 + 1 = 7; 2·4 + 1 = 9; 2·5 + 1 = 11; 2·6 + 1 = 13; 2·7 + 1 = 15 (каждое последующее увеличение значения к на 1 приводит к возрастанию количества экспериментов по плану на 2). Следовательно,

при к = 8, к = 9, к = 10, к = 11, к = 12 количество экспериментов по плану будет соответствовать 17; 19; 21; 23; 25.

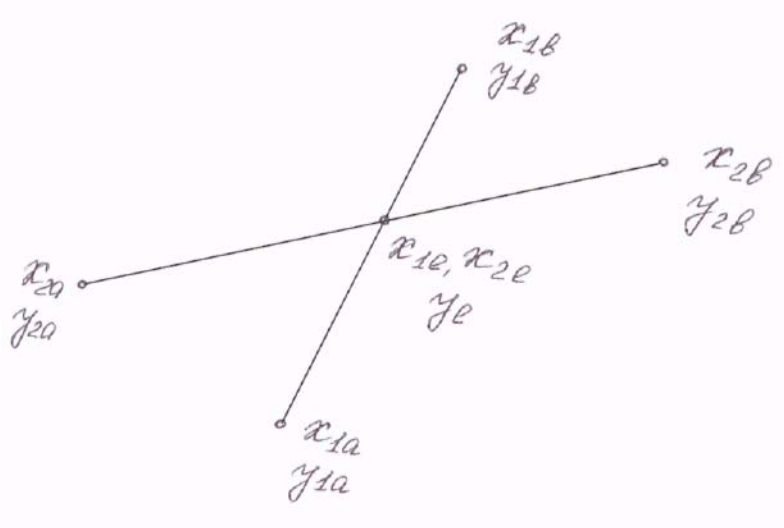


Рис. 13. Схема зависимости показателя от двух факторов при планировании 2·2 + 1

Планы 2·к + 1 разработаны с учетом того, что средний уровень каждого фактора является средней арифметической величиной $x_{me} = 0,5\cdot(x_{ma} + x_{mb})$,а это позволяет все средние уровни факторов совместить в одной общей точке и создать пучок линий (рис. 13-17). Количество линий в пучке равно количеству факторов, влияющих на показатель процесса.

При таких условиях можно выявлять математическую модель отдельно для каждого влияющего фактора так, как для однофакторного процесса, а также определять дисперсию опытов на среднем для всех факторов уровне и использовать полученную величину дисперсии опытов для выявления статической значимости коэффициентов регрессии в каждой зависимости показателя от фактора.

Используя уравнение регрессии (18) и методику моделирования однофакторного процесса на трех уровнях факторов, можно получить систему математических моделей на основе планов 2·к + 1.

Данные в табл. 18, когда 2·к + 1 = 2·2 + 1, рационально разместить в табл. 19 и табл. 20, т.е. в двух таблицах, а данные табл. 21, когда 2·к + 1 = 2·3 + 1, в трех таблицах табл. 22, табл. 23, табл. 24. Это позволяет понимать, как используются данные табл. 18 и табл. 21 для выявления отдельных математических моделей. В табл. 18-27 $x_{1e} = 0,5(x_{1a} + x_{1b})$;
$x_{2e} = 0,5(x_{2a} + x_{2b})$; $x_{3e} = 0,5(x_{3a} + x_{3b})$; $x_{4e} = 0,5(x_{4a} + +x_{4b})$;
$x_{5e} = 0,5(x_{5a} + x_{5b})$;
$x_{6e} = 0,5(x_{6a} + x_{6b})$ – средние уровни соответственно 1, 2, 3, 4, 5, 6 факторов.

Обозначения *A1, B1, E1, Y(1), Y(2), Y(3)* соответствуют принятым в компьютерных программах. При выявлении математических моделей по компьютерной программе для

$y = f(x_1)$ $E1 = 0{,}5(x_{1a} + x_{1b})$;
$y = f(x_2)$ $E1 = 0{,}5(x_{2a} + x_{2b})$;
$y = f(x_3)$ $E1 = 0{,}5(x_{3a} + x_{3b})$;
$y = f(x_4)$ $E1 = 0{,}5(x_{4a} + x_{4b})$;
$y = f(x_5)$ $E1 = 0{,}5(x_{5a} + x_{5b})$;
$y = f(x_6)$ $E1 = 0{,}5(x_{6a} + x_{6b})$.

$Y(3) = y_e$ – одна и та же величина для каждого случая моделирования на основе плана $2 \cdot к + 1$ при принятом значении количества факторов к.

Схемы зависимости показателя от факторов при планировании $2 \cdot к + 1$ показаны на рис. 13-17.

На среднем уровне факторов опыты надо повторять несколько раз (не меньше трех раз) для выявления дисперсии опытов $s^2\{y\}$.

Анализируя полученные простые, содержащие не больше трех членов, математические модели, которых будет столько же, сколько было принято факторов, можно будет сделать выводы о значительном или незначительном влиянии каждого фактора на показатель, о правильности выбора интервалов варьирования факторов и показателей степени факторов, о возможности замены отдельных факторов комплексными факторами или зависимостями одних факторов от других, об уменьшении количества факторов или замены их другими факторами, о стабилизации некоторых факторов, если это возможно, о пренебрежении несущественными факторами.

Меняя интервалы варьирования факторов, заменяя одни факторы другими, перемещая общую точку средних уровней факторов, заменяя в уравнении регрессии показатели степени факторов, можно выявить, при каком наборе факторов и при каких их величинах достигаются оптимальные значения показателей процесса. Используя выявленные существенные факторы, рациональные интервалы варьирования этих факторов, наиболее приемлемые показатели степени факторов в уравнениях регрессии, комплексные факторы, можно обоснованно перейти на более сложное математическое моделирование на основе планов 3^2 или 3^3.

Важным преимуществом математического моделирования на основе планов $2 \cdot к + 1$ является то, что можно выявлять нелинейные математические зависимости, образовывая систему уравнений.

Таблица 18

План 2·к + 1 при к = 2

№	x_1	x_2	y
1	$A1 = x_{1a}$	x_{2e}	$Y(1) = y_{1a}$
2	$B1 = x_{1b}$	x_{2e}	$Y(2) = y_{1b}$
3	x_{1e}	$A1 = x_{2a}$	$Y(1) = y_{2a}$
4	x_{1e}	$B1 = x_{2b}$	$Y(2) = y_{2b}$
5	x_{1e}	x_{2e}	$Y(3) = y_e$

Таблица 19

План 2·2 + 1 для $y = f(x_1)$

№	x_1	x_2	y
1	$A1 = x_{1a}$	x_{2e}	$Y(1) = y_{1a}$
2	$B1 = x_{1b}$	x_{2e}	$Y(2) = y_{1b}$
3	x_{1e}	x_{2e}	$Y(3) = y_e$

Таблица 20

План 2·2 + 1 для $y = f(x_2)$

№	x_1	x_2	y
1	x_{1e}	$A1 = x_{2a}$	$Y(1) = y_{2a}$
2	x_{1e}	$B1 = x_{2b}$	$Y(2) = y_{2b}$
3	x_{1e}	x_{2e}	$Y(3) = y_e$

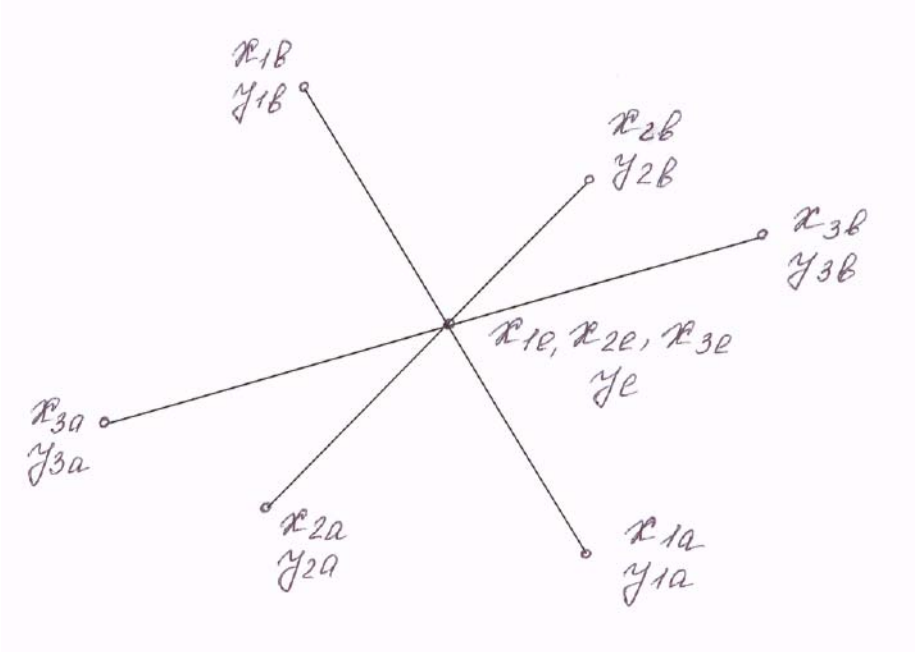


Рис. 14. Зависимости показателя от трех факторов при планировании 2·3 + 1

Таблица 21

План 2·к + 1 при к = 3

№	x_1	x_2	x_3	y
1	$A1 = x_{1a}$	x_{2e}	x_{3e}	$Y(1) = y_{1a}$
2	$B1 = x_{1b}$	x_{2e}	x_{3e}	$Y(2) = y_{1b}$
3	x_{1e}	$A1 = x_{2a}$	x_{3e}	$Y(1) = y_{2a}$
4	x_{1e}	$B1 = x_{2b}$	x_{3e}	$Y(2) = y_{2b}$
5	x_{1e}	x_{2e}	$A1 = x_{3a}$	$Y(1) = y_{3a}$
6	x_{1e}	x_{2e}	$B1 = x_{3b}$	$Y(2) = y_{3b}$
7	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	$Y(3) = y_e$

Таблица 22

План 2·3 + 1 для $y = f(x_1)$

№	x_1	x_2	x_3	y
1	$A1 = x_{1a}$	x_{2e}	x_{3e}	$Y(1) = y_{1a}$
2	$B1 = x_{1b}$	x_{2e}	x_{3e}	$Y(2) = y_{1b}$
3	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	$Y(3) = y_e$

Таблица 23

План 2·3 + 1 для $y = f(x_2)$

№	x_1	x_2	x_3	y
1	x_{1e}	$A1 = x_{2a}$	x_{3e}	$Y(1) = y_{2a}$
2	x_{1e}	$B1 = x_{2b}$	x_{3e}	$Y(2) = y_{2b}$
3	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	$Y(3) = y_e$

Таблица 24

План 2·3 + 1 для $y = f(x_3)$

№	x_1	x_2	x_3	y
1	x_{1e}	x_{2e}	$A1 = x_{3a}$	$Y(1) = y_{3a}$
2	x_{1e}	x_{2e}	$B1 = x_{3b}$	$Y(2) = y_{3b}$
3	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	$Y(3) = y_e$

План 2·к + 1 при к = 3 (табл. 20) является выборкой из плана 3^3, так как данные строк номер 9, 10, 11, 12, 13, 14, 27 плана 3^3 (табл. 16) соответствуют данным плана 2·3 + 1 (табл. 20). Отличие только в том, что в строке 27 (точка 27 на рис. 11) при планировании 2·3 + 1 $x_{1e} = 0{,}5(x_{1a} + x_{1b})$, $x_{2e} = 0{,}5(x_{2a} + x_{2b})$, $x_{3e} = 0{,}5(x_{3a} + x_{3b})$.

Рассматривая линии, построенные по точкам9-14, 27 рис. 11, можно констатировать, что все эти линии пересекаются внутри куба в точке 27, а точки 9-14 находятся на поверхностях, ограниченных ребрами куба, т.е. на всех гранях между ребрами куба. Следовательно, при планировании 2·к + 1 можно выявлять не только существенное влияние каждого фактора на показатель процесса, но и прогнозировать возможность улучшения процесса, достижения оптимальности.

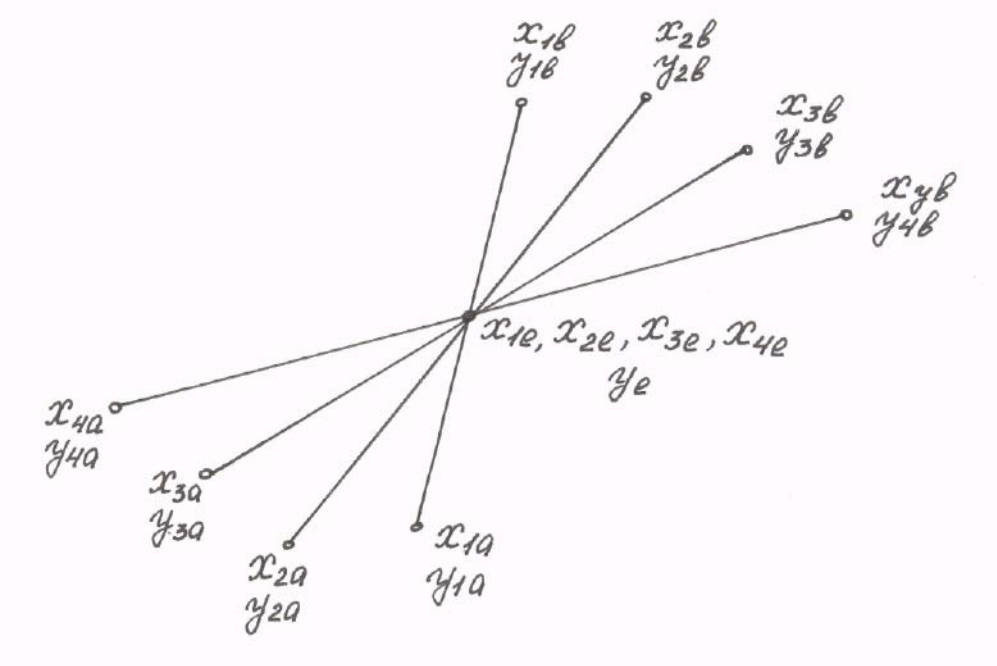


Рис. 15. Схема зависимости показателя от четырех факторов при планировании 2·4 + 1

Таблица 25

План 2·к + 1 при к = 4

№	x_1	x_2	x_3	x_4	y
1	$A1 = x_{1a}$	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	$Y(1) = y_{1a}$
2	$B1 = x_{1b}$	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	$Y(2) = y_{1b}$
3	x_{1e}	$A1 = x_{2a}$	x_{3e}	x_{4e}	$Y(1) = y_{2a}$
4	x_{1e}	$B1 = x_{2b}$	x_{3e}	x_{4e}	$Y(2) = y_{2b}$
5	x_{1e}	x_{2e}	$A1 = x_{3a}$	x_{4e}	$Y(1) = y_{3a}$
6	x_{1e}	x_{2e}	$B1 = x_{3b}$	x_{4e}	$Y(2) = y_{3b}$
7	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	$A1 = x_{4a}$	$Y(1) = y_{4a}$
8	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	$B1 = x_{4b}$	$Y(2) = y_{4b}$
9	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	$Y(3) = y_e$

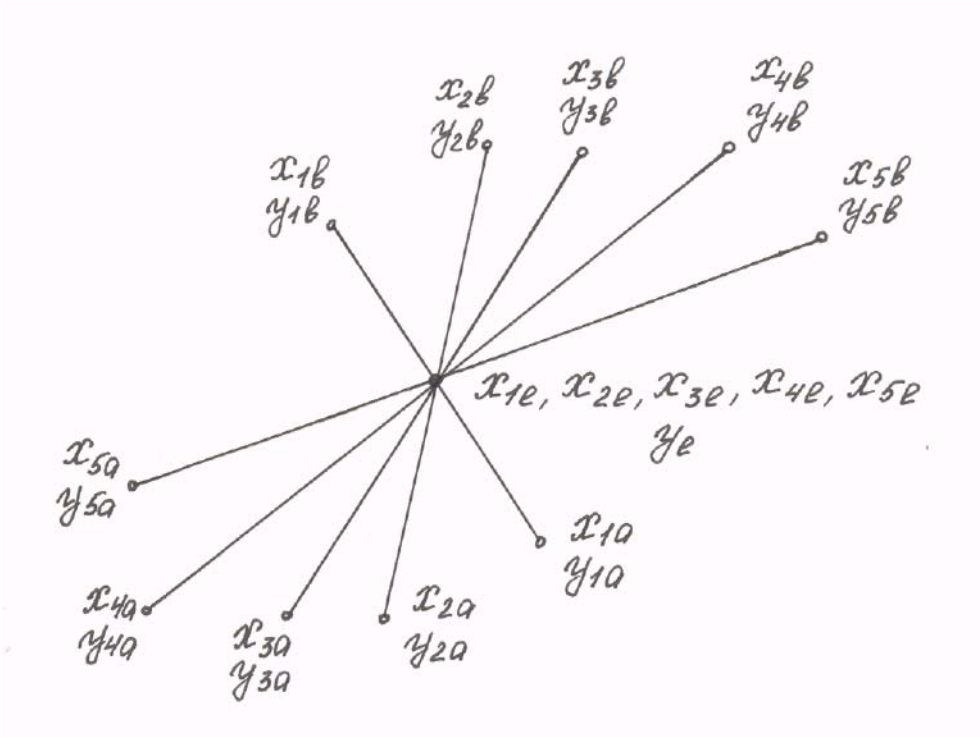


Рис. 16. Схема зависимости показателя от пяти факторов при планировании 2·5 + 1

Таблица 26

План 2·к + 1 при к = 5

№	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y
1	$A1 = x_{1a}$	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	$Y(1) = y_{1a}$
2	$B1 = x_{1b}$	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	$Y(2) = y_{1b}$
3	x_{1e}	$A1 = x_{2a}$	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	$Y(1) = y_{2a}$
4	x_{1e}	$B1 = x_{2b}$	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	$Y(2) = y_{2b}$
5	x_{1e}	x_{2e}	$A1 = x_{3a}$	x_{4e}	x_{5e}	$Y(1) = y_{3a}$
6	x_{1e}	x_{2e}	$B1 = x_{3b}$	x_{4e}	x_{5e}	$Y(2) = y_{3b}$
7	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	$A1 = x_{4a}$	x_{5e}	$Y(1) = y_{4a}$
8	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	$B1 = x_{4b}$	x_{5e}	$Y(2) = y_{4b}$
9	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	$A1 = x_{5a}$	$Y(1) = y_{5a}$
10	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	$B1 = x_{5b}$	$Y(2) = y_{5b}$
11	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	$Y(3) = y_e$

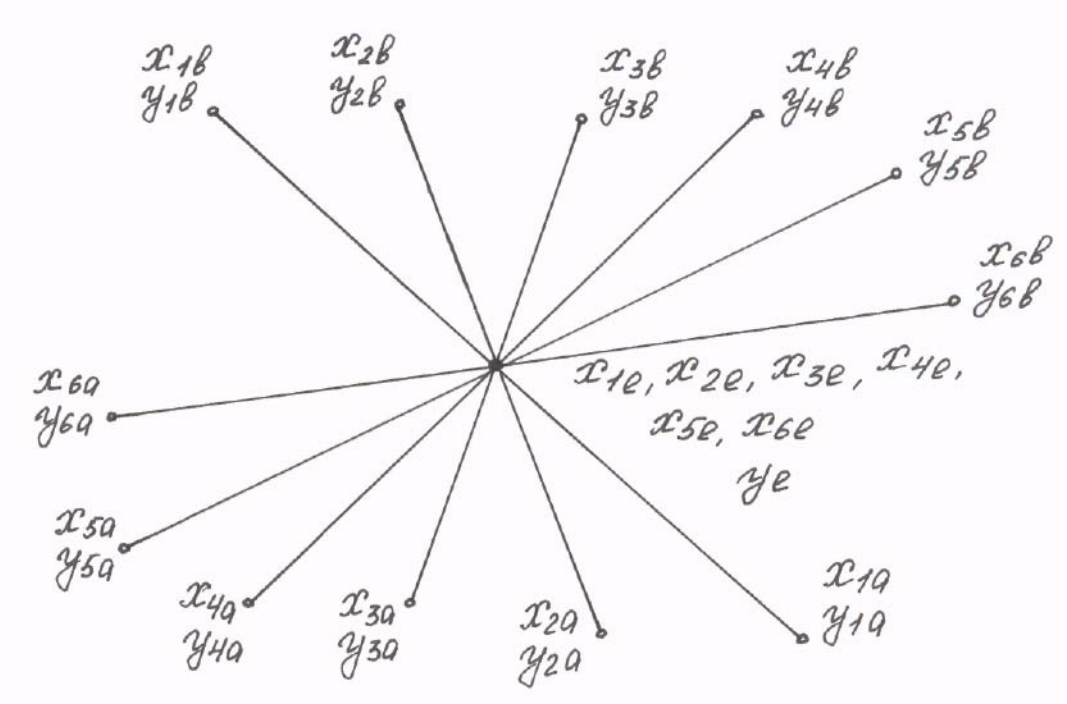


Рис. 17. Схема зависимости показателя от шести факторов при планировании 2·6 + 1

Таблица 27

План 2·к + 1 при к = 6

№	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	y
1	$A1 = x_{1a}$	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	x_{6e}	$Y(1) = y_{1a}$
2	$B1 = x_{1b}$	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	x_{6e}	$Y(2) = y_{1b}$
3	x_{1e}	$A1 = x_{2a}$	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	x_{6e}	$Y(1) = y_{2a}$
4	x_{1e}	$B1 = x_{2b}$	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	x_{6e}	$Y(2) = y_{2b}$
5	x_{1e}	x_{2e}	$A1 = x_{3a}$	x_{4e}	x_{5e}	x_{6e}	$Y(1) = y_{3a}$
6	x_{1e}	x_{2e}	$B1 = x_{3b}$	x_{4e}	x_{5e}	x_{6e}	$Y(2) = y_{3b}$
7	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	$A1 = x_{4a}$	x_{5e}	x_{6e}	$Y(1) = y_{4a}$
8	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	$B1 = x_{4b}$	x_{5e}	x_{6e}	$Y(2) = y_{4b}$
9	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	$A1 = x_{5a}$	x_{6e}	$Y(1) = y_{5a}$
10	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	$B1 = x_{5b}$	x_{6e}	$Y(2) = y_{5b}$
11	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	$A1 = x_{6a}$	$Y(1) = y_{6a}$
12	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	$B1 = x_{6b}$	$Y(2) = y_{6b}$
13	x_{1e}	x_{2e}	x_{3e}	x_{4e}	x_{5e}	x_{6e}	$Y(3) = y_e$

В ряде случаев рационально применять математическое моделирование на основе планирования экспериментов на четырех уровнях факторов.

При планировании экспериментов на четырех уровнях независимых переменных предложено универсальное уравнение регрессии, в общем виде представляющее четырехчлен:

$$y = b'_o \cdot x_o + b_{mn} \cdot x_{mn} + b_{mr} \cdot x_{mr} + b_{ms} \cdot x_{ms}, \qquad (30)$$

в котором y – показатель (параметр) процесса; $x_o = +1$;

$$x_{mn} = x^n_m + v_m; \quad x_{mr} = x^r_m + a_m \cdot x^n_m + c_m; \quad x_{ms} = x^s_m + d_m \cdot x^r_m + e_m \cdot x^n_m + f_m;$$

m – порядковый номер фактора; x_m – m-й фактор (независимое переменное); n, r, s – изменяемые числа показателей степени факторов; $v_m, a_m, c_m, d_m, e_m, f_m$ – коэффициенты ортогонализации; $b'_o, b_{mn}, b_{mr}, b_{ms}$ – коэффициенты регрессии.

Для каждой величины m-го фактора $x_{ma}, x_{mb}, x_{mc}, x_{md}$ определяются соответственно параметры y_a, y_b, y_c, y_d.

В табл.28 представлена матрица планирования однофакторных экспериментов на четырех уровнях независимых переменных.

Таблица 28

Матрица планирования однофакторных экспериментов
на четырех уровнях независимых переменных

№	Уровни факторов	x_o	x_{mn}	x_{mr}	x_{ms}	y
1	a	+1	$x_{mn,1} = x_{mna}$	$x_{mr,1} = x_{mra}$	$x_{ms,1} = x_{msa}$	$y_1 = y_a$
2	b	+1	$x_{mn,2} = x_{mnb}$	$x_{mr,2} = x_{mrb}$	$x_{ms,2} = x_{msb}$	$y_2 = y_b$
3	c	+1	$x_{mn,3} = x_{mnc}$	$x_{mr,3} = x_{mrc}$	$x_{ms,3} = x_{msc}$	$y_3 = y_c$
4	d	+1	$x_{mn,4} = x_{mnd}$	$x_{mr,4} = x_{mrd}$	$x_{ms,4} = x_{msd}$	$y_4 = y_d$

В матрице планирования экспериментов (табл.28):

$$x_{mna} = x^n_{ma} + v_m; \quad x_{mnb} = x^n_{mb} + v_m; \quad x_{mnc} = x^n_{mc} + v_m; \quad x_{mnd} = x^n_{md} + v_m;$$

$$x_{mra} = x^r_{ma} + a_m \cdot x^n_{ma} + c_m; \quad x_{mrb} = x^r_{mb} + a_m \cdot x^n_{mb} + c_m;$$

$$x_{mrc} = x^r_{mc} + a_m \cdot x^n_{mc} + c_m; \quad x_{mrd} = x^r_{md} + a_m \cdot x^n_{md} + c_m;$$

$$x_{msa} = x^s_{ma} + d_m \cdot x^r_{ma} + e_m \cdot x^n_{ma} + f_m;$$

$$x_{msb} = x^s_{mb} + d_m \cdot x^r_{mb} + e_m \cdot x^n_{mb} + f_m;$$

$$x_{msc} = x^{s}{}_{mc} + d_m \cdot x^{r}{}_{mc} + e_m \cdot x^{n}{}_{mc} + f_m;$$

$$x_{msd} = x^{s}{}_{md} + d_m \cdot x^{r}{}_{md} + e_m \cdot x^{n}{}_{md} + f_m.$$

Для сокращения дальнейших записей введены следующие обозначения средних арифметических величин:

$$\overline{x_m^n} = \left(x_{ma}^n + x_{mb}^n + x_{mc}^n + x_{md}^n\right)/4;$$

$$\overline{x_m^r} = \left(x_{ma}^r + x_{mb}^r + x_{mc}^r + x_{md}^r\right)/4;$$

$$\overline{x_m^s} = \left(x_{ma}^s + x_{mb}^s + x_{mc}^s + x_{md}^{sn}\right)/4;$$

$$\overline{x_m^{2n}} = \left(x_{ma}^{2n} + x_{mb}^{2n} + x_{mc}^{2n} + x_{md}^{2n}\right)/4;$$

$$\overline{x_m^{2r}} = \left(x_{ma}^{2r} + x_{mb}^{2r} + x_{mc}^{2r} + x_{md}^{2r}\right)/4;$$

$$\overline{x_m^{2s}} = \left(x_{ma}^{2s} + x_{mb}^{2s} + x_{mc}^{2s} + x_{md}^{2s}\right)/4;$$

$$\overline{x_m^{n+r}} = \left(x_{ma}^{n+r} + x_{mb}^{n+r} + x_{mc}^{n+r} + x_{md}^{n+r}\right)/4;$$

$$\overline{x_m^{n+s}} = \left(x_{ma}^{n+s} + x_{mb}^{n+s} + x_{mc}^{n+s} + x_{md}^{n+s}\right)/4;$$

$$\overline{x_m^{r+s}} = \left(x_{ma}^{r+s} + x_{mb}^{r+s} + x_{mc}^{r+s} + x_{md}^{r+s}\right)/4;$$

$$\overline{x_m} = \left(x_{ma} + x_{mb} + x_{mc} + x_{md}\right)/4.$$

Ортогональность матрицы планирования (см. табл.28) обеспечивается в том случае, если

$$x_{mna} + x_{mnb} + x_{mnc} + x_{mnd} = 0,$$

$$x_{mra} + x_{mrb} + x_{mrc} + x_{mrd} = 0,$$

$$x_{msa} + x_{msb} + x_{msc} + x_{msd} = 0,$$

$$x_{mna} \cdot x_{mra} + x_{mnb} \cdot x_{mrb} + x_{mnc} \cdot x_{mrc} + x_{mnd} \cdot x_{mrd} = 0,$$

$$x_{mna} \cdot x_{msa} + x_{mnb} \cdot x_{msb} + x_{mnc} \cdot x_{msc} + x_{mnd} \cdot x_{msd} = 0,$$

$$x_{mra} \cdot x_{msa} + x_{mrb} \cdot x_{msb} + x_{mrc} \cdot x_{msc} + x_{mrd} \cdot x_{msd} = 0.$$

После подстановки в эти уравнения значений слагаемых, замены получаемых сумм средними арифметическими величинами и сокращения одинаковых величин получится система из шести уравнений, по которой определяются шесть коэффициентов ортогонализации.

$$x_{ma}^{n} + v_m + x_{mb}^{n} + v_m + x_{mc}^{n} + v_m + x_{md}^{n} + v_m = 0;$$

$$4 \cdot v_m = -\left(x_{ma}^{n} + x_{mb}^{n} + x_{mc}^{n} + x_{md}^{n}\right);$$

$$v_m = -\frac{1}{4} \cdot \left(x_{ma}^{n} + x_{mb}^{n} + x_{mc}^{n} + x_{md}^{n}\right) = -\overline{x_m^n};$$

$$\boxed{v_m = -\overline{x_m^n}}.$$

$$x_{ma}^{r} + a_m \cdot x_{ma}^{n} + c_m + x_{mb}^{r} + a_m \cdot x_{mb}^{n} + c_m +$$

$$+ x_{mc}^{r} + a_m \cdot x_{mc}^{n} + c_m + x_{md}^{r} + a_m \cdot x_{md}^{n} + c_m = 0;$$

$$\left(x_{ma}^{r} + x_{mb}^{r} + x_{mc}^{r} + x_{md}^{n}\right) +$$

$$+ a_m \cdot \left(x_{ma}^{n} + x_{mb}^{n} + x_{mc}^{n} + x_{md}^{n}\right) + 4 \cdot c_m = 0;$$

$$c_m = -\frac{1}{4} \cdot \left(x_{ma}^{r} + x_{mb}^{r} + x_{mc}^{r} + x_{md}^{r}\right) -$$

$$- a_m \cdot \frac{1}{4} \cdot \left(x_{ma}^{n} + x_{mb}^{n} + x_{mc}^{n} + x_{md}^{n}\right) =$$

$$= -\overline{x_m^r} - a_m \cdot \overline{x_m^n} = -\left(\overline{x_m^r} + a_m \cdot \overline{x_m^n}\right);$$

$$\boxed{c_m = -\left(\overline{x_m^r} + a_m \cdot \overline{x_m^n}\right)}.$$

$$x_{ma}^{s} + d_m \cdot x_{ma}^{r} + e_m \cdot x_{ma}^{n} + f_m + x_{mb}^{s} + d_m \cdot x_{mb}^{r} + e_m \cdot x_{mb}^{n} + f_m +$$

$$+ x_{mc}^{s} + d_m \cdot x_{mc}^{r} + e_m \cdot x_{mc}^{n} + f_m + x_{md}^{s} + d_m \cdot x_{md}^{r} + e_m \cdot x_{md}^{n} +$$

$$+ f_m = 0;$$

$$\left(x_{ma}^{s}+x_{mb}^{s}+x_{mc}^{s}+x_{md}^{s}\right)+$$

$$+\alpha_m\cdot\left(x_{ma}^{r}+x_{mb}^{r}+x_{mc}^{r}+x_{md}^{r}\right)+$$

$$+e_m\cdot\left(x_{ma}^{n}+x_{mb}^{n}+x_{mc}^{n}+x_{md}^{n}\right)+4\cdot f_m=0;$$

$$f_m=-\frac{1}{4}\cdot\left(x_{ma}^{s}+x_{mb}^{s}+x_{mc}^{s}+x_{md}^{s}\right)-$$

$$-\alpha_m\cdot\frac{1}{4}\cdot\left(x_{ma}^{r}+x_{mb}^{r}+x_{mc}^{r}+x_{md}^{r}\right)-$$

$$-e_m\cdot\frac{1}{4}\cdot\left(x_{ma}^{n}+x_{mb}^{n}+x_{mc}^{n}+x_{md}^{n}\right)=$$

$$=-\overline{x_m^{s}}-\alpha_m\cdot\overline{x_m^{r}}+e_m\cdot\overline{x_m^{n}}=-\left(\overline{x_m^{s}}+\alpha_m\cdot\overline{x_m^{r}}+e_m\cdot\overline{x_m^{n}}\right);$$

$$\boxed{f_m=-\left(\overline{x_m^{s}}+\alpha_m\cdot\overline{x_m^{r}}+e_m\cdot\overline{x_m^{n}}\right)}.$$

$$\left(x_{ma}^{n}+v_m\right)\cdot\left(x_{ma}^{r}+a_m\cdot x_{ma}^{n}+c_m\right)+\ldots=0;$$

$$x_{ma}^{n+r}+a_m\cdot x_{ma}^{2\cdot n}+c_m\cdot x_{ma}^{n}+v_m\cdot x_{ma}^{r}+a_m\cdot v_m\cdot x_{ma}^{n}+$$

$$+c_m\cdot v_m\ldots=0;$$

$$\overline{x_m^{n+r}}+a_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot n}}+c_m\cdot\overline{x_m^{n}}+v_m\cdot\overline{x_m^{r}}+a_m\cdot v_m\cdot\overline{x_m^{n}}+c_m\cdot v_m=0;$$

$$v_m=-\overline{x_m^{n}};$$

$$\overline{x_m^{n+r}}+a_m\cdot\overline{x_m^{2\cdot n}}+\underline{c_m\cdot\overline{x_m^{n}}}+\left(-\overline{x_m^{n}}\right)\cdot\overline{x_m^{r}}+a_m\cdot\left(-\overline{x_m^{n}}\right)\cdot\overline{x_m^{n}}+$$

$$+\underline{c_m\cdot\left(-\overline{x_m^{n}}\right)}=0;$$

$$a_m\cdot\left(\overline{x_m^{2\cdot n}}-\left(\overline{x_m^{n}}\right)^2\right)=\overline{x_m^{n}}\cdot\overline{x_m^{r}}-\overline{x_m^{n+r}};$$

$$\boxed{a_m=\frac{\overline{x_m^{n}}\cdot\overline{x_m^{r}}-\overline{x_m^{n+r}}}{\overline{x_m^{2\cdot n}}-\left(\overline{x_m^{n}}\right)^2}}.$$

$$(x_{ma}^{n} + v_m)\cdot(x_{ma}^{s} + d_m \cdot x_{ma}^{r} + e_m \cdot x_{ma}^{n} + f_m) + \ldots = 0;$$

$$x_{ma}^{n+s} + d_m \cdot x_{ma}^{n+r} + e_m \cdot x_{ma}^{2\cdot n} + f_m \cdot x_{ma}^{n} +$$

$$+ v_m \cdot x_{ma}^{s} + d_m \cdot v_m \cdot x_{ma}^{r} + e_m \cdot v_m \cdot x_{ma}^{n} + v_m \cdot f_m + \ldots = 0;$$

$$\overline{x_m^{n+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + e_m \cdot \overline{x_m^{2\cdot n}} + f_m \cdot \overline{x_m^{n}} +$$

$$+ v_m \cdot \overline{x_m^{s}} + d_m \cdot v_m \cdot \overline{x_m^{r}} + e_m \cdot v_m \cdot \overline{x_m^{n}} + v_m \cdot f_m = 0;$$

$$v_m = -\overline{x_m^{n}};$$

$$\overline{x_m^{n+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + e_m \cdot \overline{x_m^{2\cdot n}} + f_m \cdot \overline{x_m^{n}} + (-\overline{x_m^{n}}) \cdot \overline{x_m^{s}} +$$

$$+ d_m \cdot (-\overline{x_m^{n}}) \cdot \overline{x_m^{r}} + e_m \cdot (-\overline{x_m^{n}}) \cdot \overline{x_m^{n}} + (-\overline{x_m^{n}}) \cdot f_m = 0;$$

$$e_m \cdot \left(\overline{x_m^{2\cdot n}} - \left(\overline{x_m^{n}}\right)^2\right) = d_m \left(\overline{x_m^{n}} \cdot \overline{x_m^{r}} - \overline{x_m^{n+r}}\right) + \overline{x_m^{n}} \cdot \overline{x_m^{s}} - \overline{x_m^{n+s}};$$

$$e_m = d_m \cdot \frac{\overline{x_m^{n}} \cdot \overline{x_m^{r}} - \overline{x_m^{n+r}}}{\overline{x_m^{2\cdot n}} - \left(\overline{x_m^{n}}\right)^2} + \frac{\overline{x_m^{n}} \cdot \overline{x_m^{s}} - \overline{x_m^{n+s}}}{\overline{x_m^{2\cdot n}} - \left(\overline{x_m^{n}}\right)^2};$$

$$a_m = \frac{\overline{x_m^{n}} \cdot \overline{x_m^{r}} - \overline{x_m^{n+r}}}{\overline{x_m^{2\cdot n}} - \left(\overline{x_m^{n}}\right)^2};$$

$$b_m = \frac{\overline{x_m^{n}} \cdot \overline{x_m^{s}} - \overline{x_m^{n+s}}}{\overline{x_m^{2\cdot n}} - \left(\overline{x_m^{n}}\right)^2};$$

$$\boxed{e_m = d_m \cdot a_m + b_m}.$$

$$(x_{ma}^{r} + a_m \cdot x_{ma}^{n} + c_m) \cdot (x_{ma}^{s} + d_m \cdot x_{ma}^{r} + e_m \cdot x_{ma}^{n} + f_m) + \ldots = 0;$$

$$x_{ma}^{r+s} + d_m \cdot x_{ma}^{2r} + e_m \cdot x_{ma}^{n+r} + f_m \cdot x_{ma}^{r} +$$

$$+ a_m \cdot x_{ma}^{n+s} + a_m \cdot d_m \cdot x_{ma}^{n+r} + a_m \cdot e_m \cdot x_{ma}^{2 \cdot n} + a_m \cdot f_m \cdot x_{ma}^{n} +$$

$$+ c_m \cdot x_{ma}^{s} + c_m \cdot d_m \cdot x_{ma}^{r} + e_m \cdot c_m \cdot x_{ma}^{n} + c_m \cdot f_m + \ldots = 0;$$

$$\overline{x_m^{r+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{2r}} + e_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + f_m \cdot \overline{x_m^{r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{n+s}} +$$

$$+ a_m \cdot d_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + a_m \cdot e_m \cdot \overline{x_m^{2\cdot n}} + a_m \cdot f_m \cdot \overline{x_m^{n}} + c_m \cdot \overline{x_m^{s}} +$$

$$+ c_m \cdot d_m \cdot \overline{x_m^{r}} + e_m \cdot c_m \cdot \overline{x_m^{n}} + c_m \cdot f_m = 0;$$

$$f_m = -\left(\overline{x_m^{s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{r}} + e_m \cdot \overline{x_m^{n}}\right);$$

$$c_m = -\left(\overline{x_m^{r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{n}}\right);$$

$$e_m = d_m \cdot a_m + b_m;$$

$$\overline{x_m^{r+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{2\cdot r}} + e_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + f \cdot \overline{x_m^{r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{n+s}} +$$

$$+ a_m \cdot d_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + a_m \cdot e_m \cdot \overline{x_m^{2\cdot n}} + a_m \cdot f_m \cdot \overline{x_m^{n}} + c_m \cdot \overline{x_m^{s}} +$$

$$+ c_m \cdot d_m \cdot \overline{x_m^{r}} + e_m \cdot c_m \cdot \overline{x_m^{n}} - c_m \cdot \overline{x_m^{s}} - c_m \cdot d_m \cdot \overline{x_m^{r}} - c_m \cdot e_m \cdot \overline{x_m^{n}} = 0;$$

$$\overline{x_m^{r+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{2\cdot r}} + e \cdot \overline{x_m^{n+r}} + f_m \cdot \overline{x_m^{r}} + a_m \cdot \overline{x_m^{n+s}} +$$

$$+ a_m \cdot d_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + a_m \cdot e_m \cdot \overline{x_m^{2\cdot n}} + a_m \cdot f_m \cdot \overline{x_m^{n}} = 0;$$

$$\overline{x_m^{r+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{2\cdot r}} + \left(d_m \cdot a_m + b_m\right) \cdot \overline{x_m^{n+r}} -$$

$$-\left(\overline{x_m^{s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{r}} + \left(d_m \cdot a_m + b_m\right) \cdot \overline{x_m^{n}}\right) \cdot \overline{x_m^{r}} +$$

$$+ a_m \cdot \overline{x_m^{n+s}} + a_m \cdot d_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + a_m \cdot \left(d_m \cdot a_m + b_m\right) \cdot \overline{x_m^{2\cdot n}} +$$

$$+ a_m \cdot \left(-\overline{x_m^{s}} - d_m \cdot \overline{x_m^{r}} - \left(d_m \cdot a_m + b_m\right) \cdot \overline{x_m^{n}}\right) \cdot \overline{x_m^{n}} = 0;$$

$$\overline{x_m^{r+s}} + d_m \cdot \overline{x_m^{2\cdot r}} + d_m \cdot a_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} + b_m \cdot \overline{x_m^{n+r}} - \overline{x_m^{s}} \cdot \overline{x_m^{r}} -$$

$$-\alpha_m\cdot\left(\overline{x_m^r}\right)^2-\alpha_m\cdot\alpha_m\cdot\overline{x_m^n}\cdot\overline{x_m^r}-\beta_m\cdot\overline{x_m^n}\cdot\overline{x_m^r}+\alpha_m\cdot\overline{x_m^{n+s}}+$$

$$+\alpha_m\cdot\alpha_m\cdot\overline{x_m^{n+r}}+\alpha_m^2\cdot\alpha_m\cdot\overline{x_m^{2n}}+\alpha_m\cdot\beta_m\cdot\overline{x_m^{2n}}-\alpha_m\cdot\overline{x_m^s}\cdot\overline{x_m^n}-$$

$$-\alpha_m\cdot\alpha_m\cdot\overline{x_m^r}\cdot\overline{x_m^n}-\alpha_m^2\cdot\alpha_m\cdot\left(\overline{x_m^n}\right)^2-\alpha_m\cdot\beta_m\cdot\left(\overline{x_m^n}\right)^2=0;$$

$$\alpha_m\cdot\left(\overline{x_m^{2r}}-\left(\overline{x_m^r}\right)^2+2\cdot\alpha_m\cdot\left(\overline{x_m^{n+r}}-\overline{x_m^n}\cdot\overline{x_m^r}\right)+\right.$$

$$\left.+\alpha_m^2\cdot\left(\overline{x_m^{2n}}-\left(\overline{x_m^n}\right)^2\right)\right)=$$

$$=\overline{x_m^s}\cdot\overline{x_m^r}-\overline{x_m^{r+s}}+\beta_m\cdot\left(\overline{x_m^n}\cdot\overline{x_m^r}-\overline{x_m^{n+r}}\right)+$$

$$+\alpha_m\cdot\left(\overline{x_m^s}\cdot\overline{x_m^n}-\overline{x_m^{n+s}}\right)+\alpha_m\cdot\beta_m\cdot\left(\left(\overline{x_m^n}\right)^2-x^{2n}\right);$$

$$t_{m1}=\overline{x_m^r}\cdot\overline{x_m^s}-\overline{x_m^{r+s}}+\beta_m\cdot\left(\overline{x_m^n}\cdot\overline{x_m^r}-\overline{x_m^{n+r}}\right);$$

$$t_{m2}=\alpha_m\cdot\left(\overline{x_m^n}\cdot\overline{x_m^s}-\overline{x_m^{n+s}}\right)+\alpha_m\cdot\beta_m\cdot\left(\left(\overline{x_m^n}\right)^2-\overline{x_m^{2n}}\right);$$

$$t_{m3}=\overline{x_m^{2r}}-\left(\overline{x_m^r}\right)^2+2\cdot\alpha_m\cdot\left(\overline{x_m^{n+r}}-\overline{x_m^n}\cdot\overline{x_m^r}\right);$$

$$\boxed{\alpha_m=\frac{t_{m1}+t_{m2}}{t_{m3}+\alpha_m^2\cdot\left(\overline{x_m^{2n}}-\left(\overline{x_m^n}\right)^2\right)}}.$$

$$v_m = -\overline{x_m^n};\qquad (31)$$

$$a_m = \frac{\overline{x_m^n}\cdot\overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}}}{\overline{x_m^{2n}} - \left(\overline{x_m^n}\right)^2};\qquad (32)$$

$$c_m = -\left(\overline{x_m^r} + a_m\cdot\overline{x_m^n}\right)\quad ;\qquad (33)$$

$$P_m = \frac{\overline{x_m^n}\cdot\overline{x_m^s} - \overline{x_m^{n+s}}}{\overline{x_m^{2n}} - \left(\overline{x_m^n}\right)^2};$$

$$t_{m1} = \overline{x_m^r}\cdot\overline{x_m^s} - \overline{x_m^{r+s}} + P_m\cdot\left(\overline{x_m^n}\cdot\overline{x_m^r} - \overline{x_m^{n+r}}\right);$$

$$t_{m2} = a_m\cdot(\overline{x_m^n}\cdot\overline{x_m^s} - \overline{x_m^{n+s}}) + a_m\cdot P_m\cdot[(\overline{x_m^n})^2 - \overline{x_m^{2n}}];$$

$$t_{m3} = \overline{x_m^{2r}} - (\overline{x_m^r})^2 + 2a_m\cdot(\overline{x_m^{n+r}} - \overline{x_m^n}\cdot\overline{x_m^r});$$

$$d_m = \frac{t_{m1} + t_{m2}}{t_{m3} + a_m^2\cdot[\overline{x_m^{2n}} - (\overline{x_m^n})^2]};\qquad (34)$$

$$e_m = d_m\cdot a_m + P_m;\qquad (35)$$

$$f_m = -(\overline{x_m^s} + d_m\cdot\overline{x_m^r} + e_m\cdot\overline{x_m^n}).\qquad (36)$$

Полученные выше зависимости предназначены для приближенных вычислений на ЭВМ.

Подстановка в уравнение (30) и в матрицу планирования (см. табл.28) рассчитанных по формулам (31) – (36) величин коэффициента ортогонализации обеспечивает ортогональность планирования экспериментов на четырех уровнях факторов.

В связи с ортогональным планированием коэффициенты регрессии уравнения (30) и дисперсии в определении коэффициентов регрессии рассчитываются независимо друг от друга по формулам:

$$b_o^{'} = \frac{\sum_{u=1}^{4} x_{o,u}\cdot y_u}{\sum_{u=1}^{4} x_{o,u}^2} = \frac{1}{4}\cdot\sum_{u=1}^{4} y_u = \frac{1}{4}\cdot\left(y_a + y_b + y_c + y_d\right);\qquad (37)$$

$$b_{mn} = \frac{\sum_{u=1}^{4} x_{mn,u}\cdot y_u}{\sum_{u=1}^{4} x_{mn,u}^2} = \frac{\left(x_{mna}\cdot y_a + x_{mnb}\cdot y_b + x_{mnc}\cdot y_c + x_{mnd}\cdot y_d\right)}{x_{mna}^2 + x_{mnb}^2 + x_{mnc}^2 + x_{mnd}^2};\qquad (38)$$

$$b_{mr} = \frac{\sum_{u=1}^{4} x_{mr,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{4} x_{mr,u}^2} = \frac{\left(x_{mra} \cdot y_a + x_{mrb} \cdot y_b + x_{mrc} \cdot y_c + x_{mrd} \cdot y_d\right)}{x_{mra}^2 + x_{mrb}^2 + x_{mrc}^2 + x_{mrd}^2}; \quad (39)$$

$$b_{ms} = \frac{\sum_{u=1}^{4} x_{ms,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{4} x_{ms,u}^2} = \frac{\left(x_{msa} \cdot y_a + x_{msb} \cdot y_b + x_{msc} \cdot y_c + x_{msd} \cdot y_d\right)}{x_{msa}^2 + x_{msb}^2 + x_{msc}^2 + x_{msd}^2}; \quad (40)$$

$$s^2\{b_0'\} = \frac{1}{4} \cdot s^2\{y\};$$

$$s^2\{b_{mn}\} = s^2\{y\} / \left(x_{mna}^2 + x_{mnb}^2 + x_{mnc}^2 + x_{mnd}^2\right),$$

$$s^2\{b_{mr}\} = s^2\{y\} / \left(x_{mra}^2 + x_{mrb}^2 + x_{mrc}^2 + x_{mrd}^2\right),$$

$$s^2\{b_{ms}\} = s^2\{y\} / \left(x_{msa}^2 + x_{msb}^2 + x_{msc}^2 + x_{msd}^2\right),$$

где $s^2\{y\}$ - дисперсия опытов; $s^2\{b'_o\}$, $s^2\{b_{mn}\}$, $s^2\{b_{mr}\}$, $s^2\{b_{ms}\}$ – дисперсии в определении соответствующих коэффициентов регрессии b'_o, b_{mn}, b_{mr}, b_{ms}.

В многочлене (30) последующий член имеет на один коэффициент ортогонализации больше, чем предыдущий член. Так, второй член имеет один коэффициент ортогонализации, третий член – два, четвертый член – три коэффициента ортогонализации, а всего получилось шесть коэффициентов ортогонализации, причем по мере увеличения количества коэффициентов ортогонализации усложняются формулы для расчета этих коэффициентов.

Важной особенностью уравнения регрессии (30) и матрицы планирования (см. табл.28) является их универсальность в связи с возможностью изменения чисел показателей степени факторов и перехода в частном случае к планированию на двух уровнях факторов.

Математические модели процессов сначала следует выявлять при показателях степени факторов $n = 1$, $r = 2$, $s = 3$, а если при этом математические модели не обеспечивают требуемой точности, то показатели степени факторов необходимо изменять, добиваясь требуемой точности.

Применяя дифференцирование функций или графические построения, можно найти максимумы или минимумы этих функций.

На рис. 18 представлена в общем виде графическая зависимость показателя от двух факторов при планировании 4^2.

Если записать в виде таблицы координаты точек 1-16 (рис. 18), то получается план проведения двухфакторных экспериментов на четырех, и в частном случае, на двух уровнях независимых переменных (табл. 29).

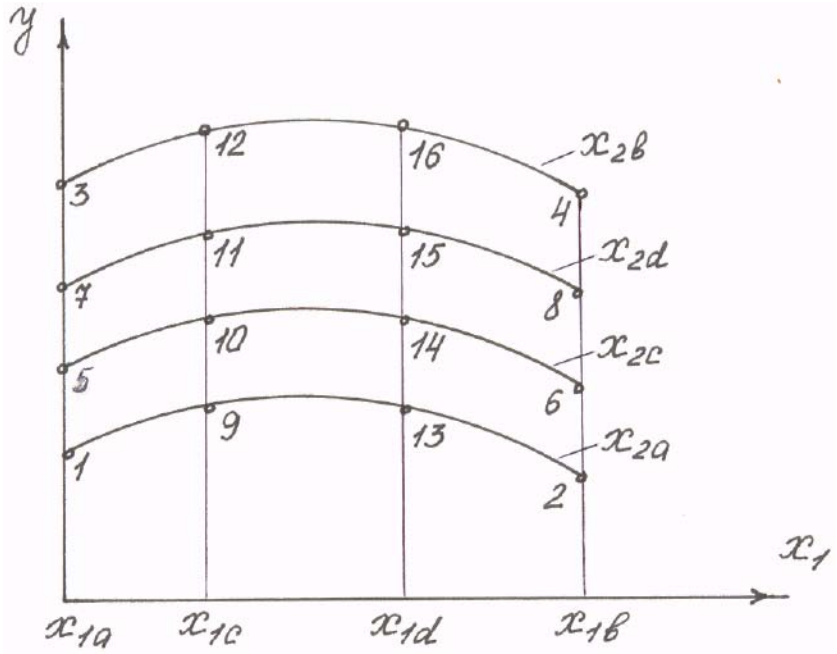


Рис.18. Зависимость показателя от двух факторов при планировании 4^2

Таблица 29

Планы проведения двухфакторных экспериментов 4^2 и 2^2

План		№, *u*	$x_{1,u}$	$x_{2,u}$	y_u
4^2	2^2	1	$x_{1,1}=x_{1a}$	$x_{2,1}=x_{2a}$	y_1
		2	$x_{1,2}=x_{1b}$	$x_{2,2}=x_{2a}$	y_2
		3	$x_{1,3}=x_{1a}$	$x_{2,3}=x_{2b}$	y_3
		4	$x_{1,4}=x_{1b}$	$x_{2,4}=x_{2b}$	y_4
		5	$x_{1,5}=x_{1a}$	$x_{2,5}=x_{2c}$	y_5
		6	$x_{1,6}=x_{1b}$	$x_{2,6}=x_{2c}$	y_6
		7	$x_{1,7}=x_{1a}$	$x_{2,7}=x_{2d}$	y_7
		8	$x_{1,8}=x_{1b}$	$x_{2,8}=x_{2d}$	y_8
		9	$x_{1,9}=x_{1c}$	$x_{2,9}=x_{2a}$	y_9
		10	$x_{1,10}=x_{1c}$	$x_{2,10}=x_{2c}$	y_{10}
		11	$x_{1,11}=x_{1c}$	$x_{2,11}=x_{2d}$	y_{11}
		12	$x_{1,12}=x_{1c}$	$x_{2,12}=x_{2b}$	y_{12}
		13	$x_{1,13}=x_{1d}$	$x_{2,13}=x_{2a}$	y_{13}
		14	$x_{1,14}=x_{1d}$	$x_{2,14}=x_{2c}$	y_{14}
		15	$x_{1,15}=x_{1d}$	$x_{2,15}=x_{2d}$	y_{15}
		16	$x_{1,16}=x_{1d}$	$x_{2,16}=x_{2b}$	y_{16}

Для плана 4^2 уравнение регрессии определяются исходя из соответствующих зависимостей:

$$y = a'_o + a_{1n} \cdot x_{1n} + a_{1r} \cdot x_{1r} + a_{1s} \cdot x_{1s},$$

где

$$a'_o = c'_o \cdot x_o + c_{2n} \cdot x_{2n} + c_{2r} \cdot x_{2r} + c_{2s} \cdot x_{2s};$$
$$a_{1n} = d'_o + d_{2n} \cdot x_{2n} + d_{2r} \cdot x_{2r} + d_{2s} \cdot x_{2s};$$
$$a_{1r} = e'_o + e_{2n} \cdot x_{2n} + e_{2r} \cdot x_{2r} + e_{2s} \cdot x_{2s};$$
$$a_{1s} = f'_o + f_{2n} \cdot x_{2n} + f_{2r} \cdot x_{2r} + f_{2s} \cdot x_{2s}.$$

После подстановки, перемножений и замены коэффициентов получается следующий полином для плана 4^2 (см. табл. 29):

$$y = b'_o \cdot x_o + b_{1n} \cdot x_{1n} + b_{2n} \cdot x_{2n} + b_{1n,2n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} + b_{1r} \cdot x_{1r} + b_{2r} \cdot x_{2r} +$$
$$+ b_{1n,2r} \cdot x_{1n} \cdot x_{2r} + b_{2n,1r} \cdot x_{2n} \cdot x_{1r} + b_{1r,2r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2r} + b_{1s} \cdot x_{1s} + b_{2s} \cdot x_{2s} +$$
$$+ b_{1n,2s} \cdot x_{1n} \cdot x_{2s} + b_{2n,1s} \cdot x_{2n} \cdot x_{1s} + b_{1r,2s} \cdot x_{1\,r} \cdot x_{2s} + b_{2r,1s} \cdot x_{2r} \cdot x_{1s} +$$
$$+ b_{1s,2s} \cdot x_{1s} \cdot x_{2s} \qquad (41)$$

В уравнении регрессии (41) y - показатель (параметр) процесса;

$x_o = +1;$ $\qquad x_{1n} = x^n{}_1 + v_1;$

$x_{1r} = x^r{}_1 + a_1 \cdot x^n{}_1 + c_1;$ $\qquad x_{1s} = x^s{}_1 + d_1 \cdot x^r{}_1 + e_1 \cdot x^n{}_1 + f_1;$

$x_{2n} = x^n{}_2 + v_2;$ $\qquad x_{2r} = x^r{}_2 + a_2 \cdot x^n{}_2 + c_2;$

$$x_{2s} = x^s{}_2 + d_2 \cdot x^r{}_2 + e_2 \cdot x^n{}_2 + f_2;$$

x_1, x_2 - 1, 2-й факторы (независимые переменные); n, r, s, -изменяемые числа показателей степени факторов; v_1, a_1, c_1, d_1, e_1, f_1 - коэффициенты ортогонализациииции, определяемые при четырех уровнях 1-го фактора, $m = 1$, по формулам (31) - (36); v_2,a_2, c_2, d_2, e_2, f_2, - коэффициенты ортогонализации, определяемые при четырех уровнях 2-го фактора, $m = 2$, по формулам (31)-(36);

b_0', b_{1n}, b_{2n}, $b_{1n,2n}$, b_{1r}, b_{2r}, $b_{1n,2r}$, $b_{2n,1r}$, $b_{1r,2r}$, b_{1s}, b_{2s}, $b_{1n,2s}$, $b_{2n,1s}$, $b_{1r,2s}$, $b_{2r,1s}$, $b_{1s,2s}$, - коэффициенты регрессии. Для уровней a, b, c, d факторы имеют следующие обозначения: x_{1a}, x_{1b}, x_{1c}, x_{1d}, x_{2a}, x_{2b}, x_{2c}, x_{2d}.

В связи с ортогональным планированием все коэффициенты регрессии и дисперсии в их определении рассчитываются независимо друг от друга. Формулы для расчета коэффициентов регрессии уравнения (41) имеют следующий вид:

$$b_0' = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{o,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{o,u}^2} = \frac{\sum_{u=1}^{N} y_u}{N}; \qquad b_{1n} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u}^2};$$

$$b_{2n} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{2n,u}^2}; \qquad b_{1n,2n} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot x_{2n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1n,u} \cdot x_{2n,u})^2};$$

$$b_{1r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{1r,u}^2}; \qquad b_{2r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{2r,u}^2};$$

$$b_{1n,2r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1n,u} \cdot x_{2r,u})^2}; \qquad b_{2n,1r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2n,u} \cdot x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{2n,u} \cdot x_{1r,u})^2};$$

$$b_{1r,2r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1r,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1r,u} \cdot x_{2r,u})^2}; \qquad b_{1s} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{1s,u}^2};$$

$$b_{2s} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{2s,u}^2}; \qquad b_{1n,2s} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1n,u} \cdot x_{2s,u})^2};$$

$$b_{2n,1s} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2n,u} \cdot x_{1s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{2n,u} \cdot x_{1s,u})^2}; \qquad b_{1r,2s} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1r,u} \cdot x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1r,u} \cdot x_{2s,u})^2};$$

$$b_{2r,1s} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2r,u} \cdot x_{1s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{2r,u} \cdot x_{1s,u})^2}; \qquad b_{1s,2s} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1s,u} \cdot x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1s,u} \cdot x_{2s,u})^2};$$

где

$$x_{1n,u} = x^n{}_{1,u} + v_1; \qquad x_{1r,u} = x^r{}_{1,u} + a_1 \cdot x^n{}_{1,u} + c_1;$$

$$x_{1s,u} = x^s{}_{1,u} + d_1 \cdot x^r{}_{1,u} + e_1 \cdot x^n{}_{1,u} + f_1;$$

$x_{2n,u} = x^{n}_{2,u} + v_2;$ $x_{2r,u} = x^{r}_{2,u} + a_2 \cdot x^{n}_{2,u} + c_2;$

$x_{2s,u} = x^{s}_{2,u} + d_2 \cdot x^{r}_{2,u} + e_2 \cdot x^{n}_{2,u} + f_2;$

N – количество опытов в соответствующем уравнению регрессии плане проведения экспериментов, т.е. $N = 16$ для плана 4^2.

Выполняется расчет тех коэффициентов регрессии, которые входят в рассматриваемое уравнение регрессии.

Если числитель (делимое) каждой из формул для расчета коэффициентов регрессии заменить величиной дисперсии опытов $s^2\{y\}$, а знаменатель (делитель) оставить прежним, то получаются формулы для расчета дисперсий в определении соответствующих коэффициентов регрессии $s^2\{b'_0\}$, $s^2\{b_{1n}\}$, $s^2\{b_{2n}\}$, $s^2\{b_{1n,2n}\}$, $s^2\{b_{1r}\}$, $s^2\{b_{2r}\}$, $s^2\{b_{1n,2r}\}$, $s^2\{b_{2n,1r}\}$, $s^2\{b_{1r,2r}\}$, $s^2\{b_{1s}\}$, $s^2\{b_{2s}\}$, $s^2\{b_{1n,2s}\}$, $s^2\{b_{2n,1s}\}$, $s^2\{b_{1r,2s}\}$, $s^2\{b_{2r,1s}\}$, $s^2\{b_{1s,2s}\}$.

Сначала следует принимать $n = 1$, $r = 2$, $s = 3$ и при этих числах показателей степени факторов производить расчет коэффициентов регрессии, дисперсий в их определении, выявлять статистически значимые коэффициенты регрессии. После подстановки в уравнение регрессии статистически значимых и не равных нулю коэффициентов регрессии надо выявлять точность математической зависимости. Если при проверке выясняется, что математическая зависимость не обеспечивает требуемой точности, то следует изменить величины показателей степени факторов и снова выполнять расчеты, пока не будет достигнута требуемая точность.

В табл. 30 и 31 представлены планы 4^1 (X = 4) и 4^2 (X = 16) с обозначение факторов и показателей применительно к компьютерным программам. Величина X соответствует количеству опытов по плану и является управляющим параметром в программах, $A1 = x_{1a}$, $B1 = x_{1b}$, $C1 = x_{1c}$, $D1 = x_{1d}$, $A2 = x_{2a}$, $B2 = x_{2b}$, $C2 = x_{2c}$, $D2 = x_{2d}$, показатели $Y(J)$ соответствуют y_u.

Таблица 30

План 4^1 (X = 4)

Номер фактора	Фактор *F(J)*	Показатель *Y(J)*
1	*A1*	*Y(1)*
2	*B1*	*Y(2)*
3	*C1*	*Y(3)*
4	*D1*	*Y(4)*

Таблица 31

План 4^2 (X = 16)

Номер опыта	Факторы		Показатель
	F(J)	*H(J)*	*Y(J)*
1	*A1*	*A2*	*Y(1)*
2	*B1*	*A2*	*Y(2)*
3	*A1*	*B2*	*Y(3)*
4	*B1*	*B2*	*Y(4)*
5	*A1*	*C2*	*Y(5)*
6	*B1*	*C2*	*Y(6)*
7	*A1*	*D2*	*Y(7)*
8	*B1*	*D2*	*Y(8)*
9	*C1*	*A2*	*Y(9)*
10	*C1*	*C2*	*Y(10)*
11	*C1*	*D2*	*Y(11)*
12	*C1*	*B2*	*Y(12)*
13	*D1*	*A2*	*Y(13)*
14	*D1*	*C2*	*Y(14)*
15	*D1*	*D2*	*Y(15)*
16	*D1*	*B2*	*Y(16)*

Многофакторное математическое моделирование можно выполнять на основе планов $3 \cdot к + 1$, где $к$ – количество факторов, оказывающих влияние на показатель процесса. В этом случае количество уровней каждого фактора – четыре. Уровни x_{md} - общие и определяются как средние арифметические величины $D1 = x_{1d} = 0{,}5 \cdot (x_{1a} + x_{1b})$;

$D2 = x_{2d} = 0{,}5 \cdot (x_{2a} + x_{2b})$;

$D3 = x_{3d} = 0{,}5 \cdot (x_{3a} + x_{3b})$;

$D4 = x_{4d} = 0{,}5 \cdot (x_{4a} + x_{4b})$;

$D5 = x_{5d} = 0{,}5 \cdot (x_{5a} + x_{5b})$.

В табл. 32-35 приведены планы $3 \cdot к + 1$ соответственно для случаев, когда $к = 2$; $к = 3$; $к = 4$; $к = 5$. Математические модели выявляются как для однофакторного процесса при планировании на четырех уровнях каждого фактора. Получаются системы уравнений, в которых столько уравнений, сколько принято факторов, оказывающих влияние на показатель процесса. По мере увеличения количества факторов в плане необходимо увеличивать количество проводимых опытов (при увеличении $к$ на 1 увеличивается количество опытов на 3).

На рис. 19 показана схема зависимости показателя от факторов при планировании $3 \cdot к + 1$, когда $к = 5$.

Таблица 32

План $3 \cdot к + 1$ при $к = 2$

№	x_1	x_2	**y**
1	$A1 = x_{1a}$	*D2*	*Y(1)*
2	$B1 = x_{1b}$	*D2*	*Y(2)*
3	$C1 = x_{1c}$	*D2*	*Y(3)*
4	*D1*	$A2 = x_{2a}$	*Y(1)*
5	*D1*	$B2 = x_{2b}$	*Y(2)*
6	*D1*	$C2 = x_{2c}$	*Y(3)*
7	*D1*	*D2*	*Y(4)*

Таблица 33

План $3 \cdot к + 1$ при $к = 3$

№	x_1	x_2	x_3	**y**
1	$A1 = x_{1a}$	*D2*	*D3*	*Y(1)*
2	$B1 = x_{1b}$	*D2*	*D3*	*Y(2)*
3	$C1 = x_{1c}$	*D2*	*D3*	*Y(3)*
4	*D1*	$A2 = x_{2a}$	*D3*	*Y(1)*
5	*D1*	$B2 = x_{2b}$	*D3*	*Y(2)*
6	*D1*	$C2 = x_{2c}$	*D3*	*Y(3)*
7	*D1*	*D2*	$A3 = x_{3a}$	*Y(1)*
8	*D1*	*D2*	$B3 = x_{3b}$	*Y(2)*
9	*D1*	*D2*	$C3 = x_{3c}$	*Y(3)*
10	*D1*	*D2*	*D3*	*Y(4)*

Таблица 34

План $3 \cdot к + 1$ при $к = 4$

№	x_1	x_2	x_3	x_4	y
1	$A1 = x_{1a}$	$D2$	$D3$	$D4$	$Y(1)$
2	$B1 = x_{1b}$	$D2$	$D3$	$D4$	$Y(2)$
3	$C1 = x_{1c}$	$D2$	$D3$	$D4$	$Y(3)$
4	$D1$	$A2 = x_{2a}$	$D3$	$D4$	$Y(1)$
5	$D1$	$B2 = x_{2b}$	$D3$	$D4$	$Y(2)$
6	$D1$	$C2 = x_{2c}$	$D3$	$D4$	$Y(3)$
7	$D1$	$D2$	$A3 = x_{3a}$	$D4$	$Y(1)$
8	$D1$	$D2$	$B3 = x_{3b}$	$D4$	$Y(2)$
9	$D1$	$D2$	$C3 = x_{3c}$	$D4$	$Y(3)$
10	$D1$	$D2$	$D3$	$A4 = x_{4a}$	$Y(1)$
11	$D1$	$D2$	$D3$	$B4 = x_{4b}$	$Y(2)$
12	$D1$	$D2$	$D3$	$C4 = x_{4c}$	$Y(3)$
13	$D1$	$D2$	$D3$	$D4$	$Y(4)$

Таблица 35

План $3 \cdot к + 1$ при $к = 5$

№	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y
1	$A1 = x_{1a}$	$D2$	$D3$	$D4$	$D5$	$Y(1)$
2	$B1 = x_{1b}$	$D2$	$D3$	$D4$	$D5$	$Y(2)$
3	$C1 = x_{1c}$	$D2$	$D3$	$D4$	$D5$	$Y(3)$
4	$D1$	$A2 = x_{2a}$	$D3$	$D4$	$D5$	$Y(1)$
5	$D1$	$B2 = x_{2b}$	$D3$	$D4$	$D5$	$Y(2)$
6	$D1$	$C2 = x_{2c}$	$D3$	$D4$	$D5$	$Y(3)$
7	$D1$	$D2$	$A3 = x_{3a}$	$D4$	$D5$	$Y(1)$
8	$D1$	$D2$	$B3 = x_{3b}$	$D4$	$D5$	$Y(2)$
9	$D1$	$D2$	$C3 = x_{3c}$	$D4$	$D5$	$Y(3)$
10	$D1$	$D2$	$D3$	$A4 = x_{4a}$	$D5$	$Y(1)$
11	$D1$	$D2$	$D3$	$B4 = x_{4b}$	$D5$	$Y(2)$
12	$D1$	$D2$	$D3$	$C4 = x_{4c}$	$D5$	$Y(3)$
13	$D1$	$D2$	$D3$	$D4$	$A5 = x_{5a}$	$Y(1)$
14	$D1$	$D2$	$D3$	$D4$	$B5 = x_{5b}$	$Y(2)$
15	$D1$	$D2$	$D3$	$D4$	$C5 = x_{5c}$	$Y(3)$
16	$D1$	$D2$	$D3$	$D4$	$D5$	$Y(4)$

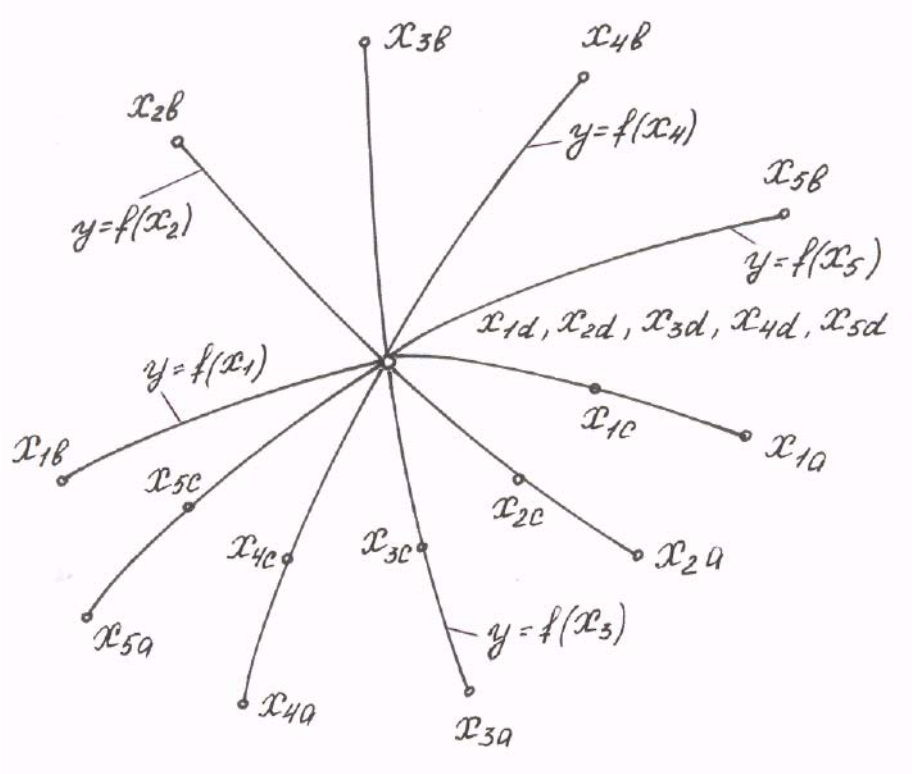


Рис. 19. Схема зависимости показателя от пяти факторов при планировании $3 \cdot 5 + 1$

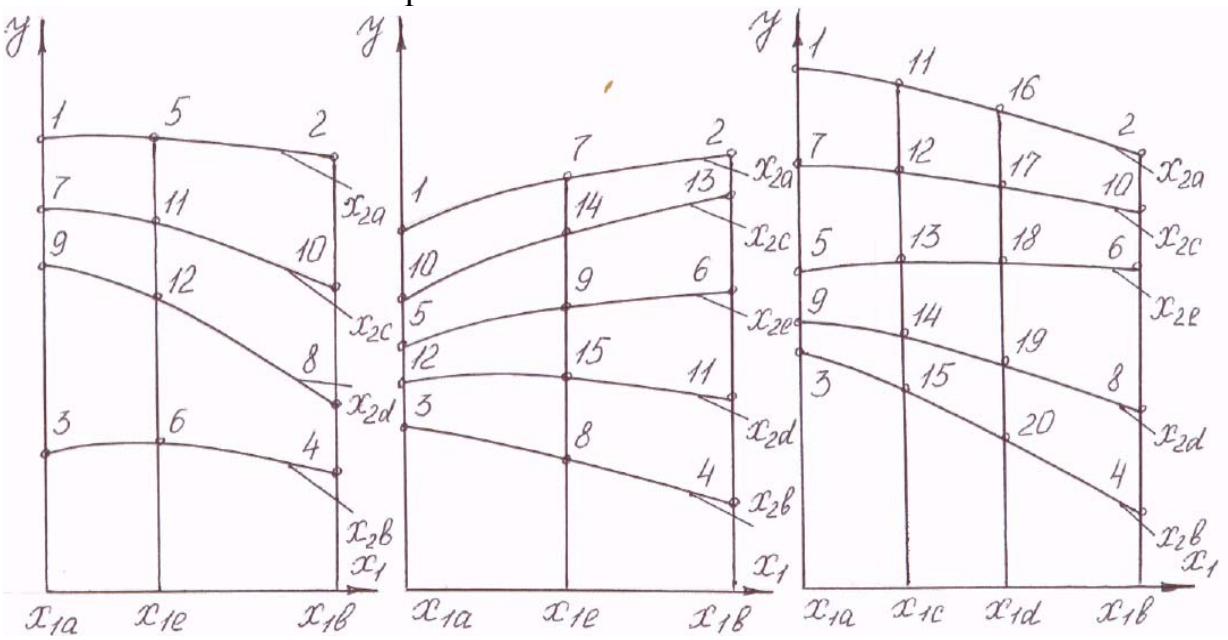
Математическое моделирование при планировании $3 \cdot к + 1$ рационально проводить, когда необходимо выявить ряд факторов, оказывающих существенное влияние на показатель процесса. Это моделирование выполняется на основе небольшого количества экспериментальных данных, но позволяет прогнозировать улучшение процессов, определять, при каких условиях можно достигать оптимальных результатов.

При проведении двухфакторных экспериментов нередко возникают случаи, когда рационально принимать неодинаковое количество уровней первого и второго независимых переменных. На рис. 20 представлены для общих случаев различные варианты графических зависимостей параметра от двух факторов. В соответствии с графиками рис. 20 эксперименты можно планировать, принимая для первого фактора три, четыре, пять уровней, а для второго фактора соответственно четыре, пять, три уровня.

В табл. 36, 37, 38 приведены планы $3 \cdot 4$, $3 \cdot 5$, $4 \cdot 5$, которые являются частными случаями плана 5^2. Каждая строчка плана 3·4 (см. табл. 36) является координатами соответствующей точки графической кривой рис. 20, а. В плане $3 \cdot 5$ (см. табл. 37) представлены построчно координаты графиче-

ских кривых (рис. 20, б), а в плане $4 \cdot 5$ (табл. 38) - координаты графических кривых (рис. 20, в).

Планы 3·4, 3·5, 4·5 являются выборками из плана 5^2 . Они позволяют выявлять математические модели процессов при меньшем количестве опытов, чем при планировании 5^2 . Сомножители в обозначениях планов 3·4, 3·5, 4·5 указывают соответственно на количество уровней первого и второго факторов, а произведения указанных сомножителей - на количество опытов в планах-выборках.



а) б) в)

Рис. 20. Схемы зависимостей показателя от двух факторов для случаев а) 3·4, б) 3·5, в) 4·5

Таблица 36

План проведения экспериментов 3 · 4

№, u	$x_{1,u}$	$x_{2,u}$	y_u
1	$x_{1,1}=x_{1a}$	$x_{2,1}=x_{2a}$	y_1
2	$x_{1,2}=x_{1b}$	$x_{2,2}=x_{2a}$	y_2
3	$x_{1,3}=x_{1a}$	$x_{2,3}=x_{2b}$	y_3
4	$x_{1,4}=x_{1b}$	$x_{2,4}=x_{2b}$	y_4
5	$x_{1,5}=x_{1e}$	$x_{2,5}=x_{2a}$	y_5
6	$x_{1,6}=x_{1e}$	$x_{2,6}=x_{2b}$	y_6
7	$x_{1,7}=x_{1a}$	$x_{2,7}=x_{2c}$	y_7
8	$x_{1,8}=x_{1b}$	$x_{2,8}=x_{2d}$	y_8
9	$x_{1,9}=x_{1a}$	$x_{2,9}=x_{2d}$	y_9
10	$x_{1,10}=x_{1b}$	$x_{2,10}=x_{2d}$	y_{10}
11	$x_{1,11}=x_{1e}$	$x_{2,11}=x_{2c}$	y_{11}
12	$x_{1,12}=x_{1e}$	$x_{2,12}=x_{2d}$	y_{12}

Таблица 37

План проведения экспериментов 3 · 5

№, u	$x_{1,u}$	$x_{2,u}$	y_u
1	$x_{1,1}=x_{1a}$	$x_{2,1}=x_{2a}$	y_1
2	$x_{1,2}=x_{1b}$	$x_{2,2}=x_{2a}$	y_2
3	$x_{1,3}=x_{1a}$	$x_{2,3}=x_{2b}$	y_3
4	$x_{1,4}=x_{1b}$	$x_{2,4}=x_{2b}$	y_4
5	$x_{1,5}=x_{1a}$	$x_{2,5}=x_{2e}$	y_5
6	$x_{1,6}=x_{1b}$	$x_{2,6}=x_{2e}$	y_6
7	$x_{1,7}=x_{1e}$	$x_{2,7}=x_{2a}$	y_7
8	$x_{1,8}=x_{1e}$	$x_{2,8}=x_{2b}$	y_8
9	$x_{1,9}=x_{1e}$	$x_{2,9}=x_{2e}$	y_9
10	$x_{1,10}=x_{1a}$	$x_{2,10}=x_{2c}$	y_{10}
11	$x_{1,11}=x_{1b}$	$x_{2,11}=x_{2d}$	y_{11}
12	$x_{1,12}=x_{1a}$	$x_{2,12}=x_{2d}$	y_{12}
13	$x_{1,13}=x_{1b}$	$x_{2,13}=x_{2c}$	y_{13}
14	$x_{1,14}=x_{1e}$	$x_{2,14}=x_{2c}$	y_{14}
15	$x_{1,15}=x_{1e}$	$x_{2,15}=x_{2d}$	y_{15}

Таблица 38

План проведения экспериментов 4 · 5

№, u	$x_{1,u}$	$x_{2,u}$	y_u
1	$x_{1,1}=x_{1a}$	$x_{2,1}=x_{2a}$	y_1
2	$x_{1,2}=x_{1b}$	$x_{2,2}=x_{2a}$	y_2
3	$x_{1,3}=x_{1a}$	$x_{2,3}=x_{2b}$	y_3
4	$x_{1,4}=x_{1b}$	$x_{2,4}=x_{2b}$	y_4
5	$x_{1,5}=x_{1a}$	$x_{2,5}=x_{2e}$	y_5
6	$x_{1,6}=x_{1b}$	$x_{2,6}=x_{2e}$	y_6
7	$x_{1,7}=x_{1a}$	$x_{2,7}=x_{2c}$	y_7
8	$x_{1,8}=x_{1b}$	$x_{2,8}=x_{2d}$	y_8
9	$x_{1,9}=x_{1a}$	$x_{2,9}=x_{2d}$	y_9
10	$x_{1,10}=x_{1b}$	$x_{2,10}=x_{2c}$	y_{10}
11	$x_{1,11}=x_{1c}$	$x_{2,11}=x_{2a}$	y_{11}
12	$x_{1,12}=x_{1c}$	$x_{2,12}=x_{2c}$	y_{12}
13	$x_{1,13}=x_{1c}$	$x_{2,13}=x_{2e}$	y_{13}
14	$x_{1,14}=x_{1c}$	$x_{2,14}=x_{2d}$	y_{14}
15	$x_{1,15}=x_{1c}$	$x_{2,15}=x_{2b}$	y_{15}
16	$x_{1,16}=x_{1d}$	$x_{2,16}=x_{2a}$	y_{16}
17	$x_{1,17}=x_{1d}$	$x_{2,17}=x_{2c}$	y_{17}
18	$x_{1,18}=x_{1d}$	$x_{2,18}=x_{2e}$	y_{18}
19	$x_{1,19}=x_{1d}$	$x_{2,19}=x_{2d}$	y_{19}
20	$x_{1,20}=x_{1d}$	$x_{2,20}=x_{2b}$	y_{20}

Для планов 3·4, 3·5, 4·5 уравнения регрессии определяются исходя из соответствующих зависимостей:

$$y = a'_o + a_{1n} \cdot x_{1n} + a_{1r} \cdot x_{1r},$$

где $a'_o = c'_o \cdot x_o + c_{2n} \cdot x_{2n} + c_{2r} \cdot x_{2r} + c_{2s} \cdot x_{2s}$;

$a_{1n} = d'_o + d_{2n} \cdot x_{2n} + d_{2r} \cdot x_{2r} + d_{2s} \cdot x_{2s}$;

$a_{1r} = e'_o + e_{2n} \cdot x_{2n} + e_{2r} \cdot x_{2r} + e_{2s} \cdot x_{2s}$;

$$y = a'_o + a_{1n} \cdot x_{1n} + a_{1r} \cdot x_{1r},$$

где $a'_o = c'_o \cdot x_o + c_{2n} \cdot x_{2n} + c_{2r} \cdot x_{2r} + c_{2s} \cdot x_{2s} + c_{2w} \cdot x_{2w}$;

$a_{1n} = d'_o + d_{2n} \cdot x_{2n} + d_{2r} \cdot x_{2r} + d_{2s} \cdot x_{2s} + d_{2w} \cdot x_{2w}$;

$a_{1r} = e'_o + e_{2n} \cdot x_{2n} + e_{2r} \cdot x_{2r} + e_{2s} \cdot x_{2s} + e_{2w} \cdot x_{2w}$;

$$y = a'_o + a_{1n} \cdot x_{1n} + a_{1r} \cdot x_{1r} + a_{1s} \cdot x_{1s},$$

где $a'_o = c'_o \cdot x_o + c_{2n} \cdot x_{2n} + c_{2r} \cdot x_{2r} + c_{2s} \cdot x_{2s} + c_{2w} \cdot x_{2w}$;

$a_{1n} = d'_o + d_{2n} \cdot x_{2n} + d_{2r} \cdot x_{2r} + d_{2s} \cdot x_{2s} + d_{2w} \cdot x_{2w}$;

$$a_{1r} = e'_o + e_{2n} \cdot x_{2n} + e_{2r} \cdot x_{2r} + e_{2s} \cdot x_{2s} + e_{2w} \cdot x_{2w} \ ;$$
$$a_{1s} = f'_o + f_{2n} \cdot x_{2n} + f_{2r} \cdot x_{2r} + f_{2s} \cdot x_{2s} + f_{2w} \cdot x_{2w} \ .$$

После подстановки, перемножений и замены коэффициентов получаются следующие полиномы.

Для плана 3 · 4 (табл. 36);

$$y = b'_o \cdot x_o + b_{1n} \cdot x_{1n} + b_{2n} \cdot x_{2n} + b_{1n,2n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} + b_{1r} \cdot x_{1r} + b_{2r} \cdot x_{2r} +$$
$$+ b_{1n,2r} \cdot x_{1n} \cdot x_{2r} + b_{2n,1r} \cdot x_{2n} \cdot x_{1r} + b_{2r,1r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2r} + b_{2s} \cdot x_{2s} +$$
$$+ b_{2s,1n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2s} + b_{2s,1r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2s} \qquad (42)$$

Для плана 3 · 5 (см. табл. 37);

$$y = b'_o \cdot x_o + b_{1n} \cdot x_{1n} + b_{2n} \cdot x_{2n} + b_{1n,2n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} + b_{1r} \cdot x_{1r} + b_{2r} \cdot x_{2r} +$$
$$+ b_{1n,2r} \cdot x_{1n} \cdot x_{2r} + b_{2n,1r} \cdot x_{2n} \cdot x_{1r} + b_{2r,1r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2r} + b_{2s} \cdot x_{2s} +$$
$$+ b_{2s,1n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2s} + b_{2s,1r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2s} + b_{2w} \cdot x_{2w} + b_{2w,1n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2w} +$$
$$+ b_{2w,1r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2w} \qquad (43)$$

Для плана 4 · 5 (см. табл. 6);

$$y = b'_o \cdot x_o + b_{1n} \cdot x_{1n} + b_{2n} \cdot x_{2n} + b_{1n,2n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2n} + b_{1r} \cdot x_{1r} + b_{2r} \cdot x_{2r} +$$
$$+ b_{1n,2r} \cdot x_{1n} \cdot x_{2r} + b_{2n,1r} \cdot x_{2n} \cdot x_{1r} + b_{2r,1r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2r} + b_{1s} \cdot x_{1s} + b_{2s} \cdot x_{2s} +$$
$$+ b_{2s,1n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2s} + b_{1s,2n} \cdot x_{2n} \cdot x_{1s} + b_{1r,2s} \cdot x_{1r} \cdot x_{2s} + b_{2r,1s} \cdot x_{2r} \cdot x_{1s} +$$
$$+ b_{2s1s} \cdot x_{2s} \cdot x_{1s} + b_{2w} \cdot x_{2w} + b_{2w,1n} \cdot x_{1n} \cdot x_{2w} + b_{2w,1r} \cdot x_{1r} \cdot x_{2w} +$$
$$+ b_{2w,1s} \cdot x_{1s} \cdot x_{2w} \qquad (44)$$

В уравнениях регрессии (42) - (44) y - показатель (параметр) процесса; $x_o = +1$; $x_{1n} = x^n_1 + v_1$;

$$x_{1r} = x^r_1 + a_1 \cdot x^n_1 + c_1; \ x_{1s} = x^s_1 + d_1 \cdot x^r_1 + e_1 \cdot x^n_1 + f_1;$$
$$x_{2n} = x^n_2 + v_2 \ ;$$
$$x_{2r} = x^r_2 + a_2 \cdot x^n_2 + c_2; \ x_{2s} = x^s_2 + d_2 \cdot x^r_2 + e_2 \cdot x^n_2 + f_2;$$
$$x_{2w} = x^w_2 + g_2 \cdot x^s_2 + h_2 \cdot x^r_2 + k_2 \cdot x^n_2 + l_2;$$

x_1, x_2 -1, 2-й факторы (независимые переменные); n, r, s, w - изменяемые числа показателей степени факторов; v_1, a_1, c_1, d_1, e_1, f_1, - коэффициенты ортогонации, определяемые

при четырех уровнях 1-го фактора, $m = 1$, $N = 4$ по формулам (31) - (36);

при трех уровнях 1-го фактора, $m = 1$, $N = 3$ по формулам (19)-(21); v_2, a_2, c_2, d_2, e_2, f_2, g_2, h_2, k_2, l_2 -коэффициенты ортогонализации, определяемые при пяти уровнях 2-го фактора, $m = 2$, $N = 5$ по формулам (2)-(11);

при четырех уровнях 2-го фактора, $m = 2$, $N = 4$ по формулам (31)-(36);

при трех уровнях 2-го фактора, $m = 2$, $N = 3$ по формулам (19)-(21);

b_0', b_{1n}, b_{2n}, $b_{1n,2n}$, b_{1r}, b_{2r}, $b_{1n,2r}$, $b_{2n,1r}$, $b_{1r,2r}$, b_{1s}, b_{2s}, $b_{1n,2s}$, $b_{2n,1s}$, $b_{1r,2s}$, $b_{2r,1s}$, $b_{1s,2s}$, b_{1w}, b_{2w}, $b_{1n,2w}$, $b_{2n,1w}$, $b_{1r,2w}$, $b_{22r,1w}$, $b_{1s,2w}$, $b_{2s,1w}$ $b_{1w,2w}$ - коэффициенты регресии.

Для уровней *a, b, c, d, e* факторы имеют следующие обозначения: x_{1a}, x_{1b}, x_{1c}, x_{1d}, x_{1e}, x_{2a}, x_{2b}, x_{2c}, x_{2d}, x_{2e}.

В связи с ортогональным планированием все коэффициенты регрессии и дисперсии в их определении рассчитываются независимо друг от друга. Формулы для расчета коэффициентов регрессии уравнений (42)-(44) имеют следующий вид:

$$b_0^{'} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{o,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{o,u}^2} = \frac{\sum_{u=1}^{N} y_u}{N}; \tag{45}$$

$$b_{1n} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u}^2}; \tag{46}$$

$$b_{2n} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{2n,u}^2}; \tag{47}$$

$$b_{1n,2n} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot x_{2n,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1n,u} \cdot x_{2n,u})^2}; \tag{48}$$

$$b_{1r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{1r,u}^2}; \tag{49}$$

$$b_{2r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{2r,u}^2}; \tag{50}$$

$$b_{1n,2r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1n,u} \cdot x_{2r,u})^2}; \tag{51}$$

$$b_{2n,1r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2n,u} \cdot x_{1r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{2n,u} \cdot x_{1r,u})^2}; \quad (52)$$

$$b_{1r,2r} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1r,u} \cdot x_{2r,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1r,u} \cdot x_{2r,u})^2}; \quad (53)$$

$$b_{1s} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{1s,u}^2}; \quad (54)$$

$$b_{2s} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{2s,u}^2}; \quad (55)$$

$$b_{1n,2s} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1n,u} \cdot x_{2s,u})^2}; \quad (56)$$

$$b_{2n,1s} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2n,u} \cdot x_{1s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{2n,u} \cdot x_{1s,u})^2}; \quad (57)$$

$$b_{1r,2s} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1r,u} \cdot x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1r,u} \cdot x_{2s,u})^2}; \quad (58)$$

$$b_{2r,1s} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2r,u} \cdot x_{1s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{2r,u} \cdot x_{1s,u})^2}; \quad (59)$$

$$b_{1s,2s} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1s,u} \cdot x_{2s,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1s,u} \cdot x_{2s,u})^2}; \quad (60)$$

$$b_{2w} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{2w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} x_{2w,u}^2}; \quad (61)$$

$$b_{2n,2w} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1n,u} \cdot x_{2w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1n,u} \cdot x_{2w,u})^2}; \quad (62)$$

$$b_{1r,2w} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1r,u} \cdot x_{2w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1r,u} \cdot x_{2w,u})^2}; \quad (63)$$

$$b_{1s,2w} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{1s,u} \cdot x_{2w,u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{N} (x_{1s,u} \cdot x_{2w,u})^2}; \quad (64)$$

где

$$x_{1n,u} = x^n_{1,u} + v_1;\ x_{1r,u} = x^r_{1,u} + a_1 \cdot x^n_{1,u} + c_1;$$
$$x_{1s,u} = x^s_{1,u} + d_1 \cdot x^r_{1,u} + e_1 \cdot x^n_{1,u} + f_1;$$
$$x_{1w,u} = x^w_{1,u} + q_1 \cdot x^s_{1,u} + h_1 \cdot x^r_{1,u} + \kappa_1 x^n_{1,u} + l_1;$$
$$x_{2n,u} = x^n_{2,u} + v_2;\ x_{2r,u} = x^r_{2,u} + a_2 \cdot x^n_{2,u} + c_2;$$
$$x_{2s,u} = x^s_{2,u} + d_2 \cdot x^r_{2,u} + e_2 \cdot x^n_{2,u} + f_2;$$
$$x_{2w,u} = x^w_{2,u} + q_2 \cdot x^s_{2,u} + h_2 \cdot x^r_{2,u} + \kappa_2 \cdot xn_{2,u} + l_2,$$

N – количество опытов в соответствующем уравнению регрессии плане проведения экспериментов.

Выполняется расчет тех коэффициентов регрессии, которые входят в рассматриваемое уравнение регрессии (используются формулы 45-53, 55, 56, 58 при 3·4; 45-53, 55, 56, 58, 62, 63, 65 при 3·5; 45-64 при 4·5). В форму-

лы подставляются данные от 1-го до N-го опыта плана, соответствующего уравнению регрессии.

Если числитель (делимое) каждой из формул для расчета коэффициентов регрессии заменить величиной дисперсии опытов $s^2\{y\}$, а знаменатель (делитель) оставить прежним, то получаются формулы для расчета дисперсий в определении соответствующих коэффициентов регрессии $s^2\{b'_0\}$, $s^2\{b_{1n}\}$, $s^2\{b_{2n}\}$, $s^2\{b_{1n,2n}\}$, $s^2\{b_{1r}\}$, $s^2\{b_{2r}\}$, $s^2\{b_{1n,2r}\}$, $s^2\{b_{2n,1r}\}$, $s^2\{b_{1r,2r}\}$, $s^2\{b_{1s}\}$, $s^2\{b_{2s}\}$, $s^2\{b_{1n,2s}\}$, $s^2\{b_{2n,1s}\}$, $s^2\{b_{1r,2s}\}$, $s^2\{b_{2r,1s}\}$, $s^2\{b_{1s,2s}\}$, $s^2\{b_{2w}\}$, $s^2\{b_{1n,2w}\}$, $s^2\{b_{1r,2w}\}$, $s^2\{b_{1s,2w}\}$.

Сначала следует принимать $n = 1$, $r = 2$, $s = 3$, $w = 4$ и при этих числах показателей степени факторов производить расчет коэффициентов регрессии, дисперсий в их определении, выявлять статистически значимые коэффициенты регрессии. Математическая модель процесса получается после подстановки в уравнение регрессии статистически значимых и не равных нулю коэффициентов регрессии. Если при проверке выясняется, что математическая модель не обеспечивает требуемой точности, то следует изменить величины показателей степени факторов и основа выполнять расчеты, пока не будет достигнута требуемая точность.

ВЫЯВЛЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГРЕССИИ, АДЕКВАТНОСТИ И ТОЧНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Для определения ошибки экспериментов проводится серия параллельных одинаковых опытов на основном (среднем) уровне независимых переменных, то есть когда $x_m = (x_{ma} + x_{mb})/2$ для каждого m-го фактора. Необходимо проводить таких опытов приблизительно в два раза больше числа выбранных факторов при количестве факторов ≥ 3. При одном факторе рекомендуется проводить параллельно опытов $N_0 \geq 4$, а при двух факторах – $N_0 \geq 5$.

Дисперсия опытов $s^2\{y\}$ рассчитывается по формуле:

$$s^2\{y\} = \frac{\sum_{j=1}^{N_0}(y_j - \overline{y})^2}{N_0 - 1}, \qquad (65)$$

где j - номер параллельно проводимого опыта; N_0 – количество параллельных опытов; y_j- результат j - го параллельного опыта; $\overline{y}$ - среднее арифметическое значение результатов параллельных опытов.

По дисперсии опытов определяется среднеквадратичная ошибка экспериментов

$$s\{y\} = \sqrt{s^2\{y\}} \quad . \tag{66}$$

Статистическая значимость коэффициентов регрессии b_i проверяется по t – критерию. Расчетные величины t_i – критерия для каждого I-го коэффициента регрессии b_i определяются по формуле:

$$t_i = \frac{b_i}{s\{b_i\}} \tag{67}$$

где $s\{b_i\} = \sqrt{s^2\{b_i\}}$ - среднеквадратичная ошибка в определении j-го коэффициента регрессии.

Рассчитанные по формуле (67) величины t_i сравниваются с табличным значением t_T – критерия (табл. 39), взятым при том же значении степени свободы $f_1 = N_0 - 1$, при котором была определена по формуле (66) среднеквадратичная ошибка экспериментов $s\{y\}$ и при 5 или 1%-м уровне значимости. Если $t_i \geq t_т$, то i-й коэффициент регрессии статистически значим. Члены полинома, коэффициенты регрессии которых статистически незначимы, можно исключить из уравнения.

Проверка адекватности математической модели осуществляется по F–критерию (критерию Фишера), расчетное значение которого (F_p) определяется по формуле:

$$F_p = \frac{\sum_{u=1}^{N}(y_{p,u} - y_u)^2}{(N-1)\cdot s^2\{y\}} \ , \tag{68}$$

где N – число опытов по плану проведения экспериментов;

$y_{p,u}$ и y_u – значения показателей процесса в u-м опыте, соответственно рассчитанные по уравнению регрессии и определенные экспериментально;

$s^2\{y\}$ – дисперсия опытов.

В уравнении (68) $\frac{\sum_{u=1}^{N}(y_{p,u} - y_u)^2}{(N-1)} = s_н^2$ - дисперсия неадекватности:

$N - 1 = f_2$ – число степени свободы при определении дисперсии неадекватности.

Из уравнения (68) следует, что F_p-критерий – это отношение дисперсии предсказания, полученной математической моделью (дисперсии неадекватности), к дисперсии опытов.

Таблица 39

Значения *t* –критерия для распределения Стьюдента [3]

Число степеней свободы f_1	Значение t_T – критерия для уровней значимости, %	
	5	1
1	12,706	63,657
2	4,303	9,925
3	3,182	5,841
4	2,776	4,604
5	2,571	4,032
6	2,447	3,707
7	2,365	3,499
8	2,306	3,355
9	2,262	3,250
10	2,228	3,169
12	2,179	3,055
14	2,145	2,977
16	2,120	2,921
18	2,101	2,878
20	2,086	2,845
22	2,074	2,819
24	2,064	2,797
26	2,056	2,779
28	2,048	2,763
30	2,042	2,750
>30	1,960	2,576

Уравнение регрессии считается адекватным в том случае, когда рассчитанное значение F_p критерия не превышает табличного F (табл. 40 и 41) [3] для выбранного уровня значимости и при степенях свободы $f_1 = N_0 - 1$, $f_2 = N - 1$, то есть когда $F_p \leq F$. Число степени свободы $f_2 = N - 1$ принято исходя из данных работы [3].

Так как статистические модели приближенно оценивают взаимосвязь показателей процесса с факторами, то особое внимание необходимо уделять оценке фактической точности модели. Проверка и уточнение математической модели осуществляется на основании серии контрольных экспериментов.

Таблица 40

f_1	Значения F –критерия для 5% уровня значимости												
	f_2												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11..20	21..30	>30
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	248	250	254
2	18,51	19	19,16	19,25	19,3	19,33	19,36	19,37	19,38	19,39	19,44	19,46	19,5
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,88	8,84	8,81	8,78	8,66	8,62	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,80	5,74	5,63
5	6,61	579	5,41	5,19	5,05	495	4,88	4,82	4,78	474	4,56	4,50	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	3,87	3,81	367
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,63	3,44	3,38	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,34	3,15	3,08	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,13	2,93	2,86	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,97	2,77	2,70	2,54
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,52	2,45	2,40	2,35	2,12	2,04	1,84
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,34	2,27	2,21	2,16	1,93	1,84	1,62
>30	3,84	2,99	2,60	2,37	2,21	2,09	2,01	1,94	1,88	1,83	1,57	1,46	1,00

Таблица 41

f_1	Значения F –критерия для 1% уровня значимости												
	f_2												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11..20	21..30	>30
1	4052	4999	5403	5625	5764	5889	5928	5981	6022	60,56	6208	6258	6366
2	98,49	99,01	99,17	99,25	99,3	99,33	99,34	99,36	99,38	99,4	99,45	99,47	99,5
3	34,12	30,81	29,46	28,71	28,24	27,91	27,67	27,49	27,34	27,23	26,69	26,50	26,12
4	21,2	18,00	16,69	15,98	15,52	15,21	14,98	14,80	14,66	14,54	14,02	13,83	13,46
5	16,26	13,27	12,06	11,39	10,97	10,67	10,45	10,27	10,15	10,05	9,55	9,38	9,02
6	13,74	10,92	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,98	7,87	7,39	7,23	6,88
7	12,25	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	7,00	6,84	6,71	6,62	6,15	5,98	5,65
8	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,19	6,03	5,91	5,82	5,36	5,20	4,86
9	10,57	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,62	5,47	5,35	5,26	4,80	4,64	4,31
10	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,21	5,06	4,95	4,85	4,41	4,25	3,91
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,71	3,56	3,45	3,37	2,94	2,77	2,42
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,30	3,17	3,06	2,98	2,55	2,38	2,01
>30	6,64	4,60	3,78	3,32	3,02	2,80	2,64	2,51	2,41	2,32	1,87	1,69	1,09

АЛГОРИТМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Применительно к использованию ЭВМ разработан следующий алгоритм математического моделирования, который сводится к следующему.

1. Начало выполнения программы, ввод количества опытов по плану, величин факторов на принятых уровнях и показателей степени в уравнении регрессии.

Расчет коэффициентов ортогонализации.

Ввод величин показателей процесса.

Расчет коэффициентов регрессии до их анализа.

Ввод количества опытов на среднем уровне факторов.

Расчет показателей до анализа коэффициентов регрессии.

Выявление дисперсии опытов, расчетных величин t-критерия для каждого коэффициента регрессии.

Ввод табличного t-критерия.

Выявление статистически значимых коэффициентов регрессии.

Ввод табличного F-критерия.

Расчет показателей после анализа коэффициентов регрессии.

Выявление расчетной величины F-критерия и адекватности модели.

Выполнение расчетов по модели и проверка точности модели.

Вычисления показателей по математической модели с использованием циклов и построение графиков.

Конец выполнения программы.

Разработка программ математического моделирования выполнена на языке Бейсик, операторы которого приведены ниже.

ПЛАНЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЭВМ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В табл. 42-53 представлены планы проведения экспериментов 2^1, 2^2, 2^3, 2^4, 2^5, 3^1, 4^1, 5^1, 4^2, $3 \cdot 5$, 3^2, 5^2, 3^3, $4 \cdot 5$, $3 \cdot 4$ применительно к использованию ЭВМ для математического моделирования.

Таблица 42

План 2^1 (X= 2)

Номер опыта	Фактор F(J)	Показатель
1	A1	Y(1)
2	B1	Y(2)

Таблица 43

План 2^2 (X = 4)

Номер опыта	Факторы		Показатель Y(J)
	F(J)	H(J)	
1	A1	A2	Y(1)
2	B1	A2	Y(2)
3	A1	B2	Y(3)
4	B1	B2	Y(4)

Таблица 44

План 2^3 (X = 8)

Номер опыта	Факторы			Показатель Y(J)
	F(J)	H(J)	L(J)	
1	A1	A2	A3	Y(1)
2	B1	A2	A3	Y(2)
3	A1	B2	A3	Y(3)
4	B1	B2	A3	Y(4)
5	A1	A2	B3	Y(5)
6	B1	A2	B3	Y(6)
7	A1	B2	B3	Y(7)
8	B1	B2	B3	Y(8)

Таблица 45

План 2^4

Номер опыта	Факторы				ПоказательY(J)
	F(J)	H(J)	L(J)	K(J)	
1	A1	A2	A3	A4	Y(I)
2	B1	A2	A3	A4	Y(2)
3	A1	B2	A3	A4	Y(3)
4	B1	B2	A3	A4	Y(4)
5	A1	A2	B3	A4	Y(5)
6	B1	A2	B3	A4	Y(6)
7	A1	B2	B3	A4	Y(7)
8	B1	B2	B3	A4	Y(8)
9	A1	A2	A3	B4	Y(9)
10	B1	A2	A3	B4	Y(10)
11	A1	B2	A3	B4	Y(11)
12	B1	B2	A3	B4	Y(12)
13	A1	A2	B3	B4	Y(13)
14	B1	A2	B3	B4	Y(14)
15	A1	B2	B3	B4	Y(15)
16	B1	B2	B3	B4	Y(16)

Таблица 46

План 2^5 (X = 32)

Номер опыта	Факторы					Показатель Y(J)
	F(J)	H(J)	L(J)	K(J)	M(J)	
1	A1	A2	A3	A4	A5	Y(1)
2	B1	A2	A3	A4	A5	Y(2)
3	A1	B2	A3	A4	A5	Y(3)
4	B1	B2	A3	A4	A5	Y(4)
5	A1	A2	B3	A4	A5	Y(5)
6	B1	A2	B3	A4	A5	Y(6)
7	A1	B2	B3	A4	A5	Y(7)
8	B1	B2	B3	A4	A5	Y(8)
9	A1	A2	A3	B4	A5	Y(9)
10	B1	A2	A3	B4	A5	Y(10)
11	A1	B2	A3	B4	A5	Y(11)
12	B1	B2	A3	B4	A5	Y(12)
13	A1	A2	B3	B4	A5	Y(13)
14	B1	A2	B3	B4	A5	Y(14)
15	A1	B2	B3	B4	A5	Y(15)
16	B1	B2	B3	B4	A5	Y(16)
17	A1	A2	A3	A4	B5	Y(17)
18	B1	A2	A3	A4	B5	Y(18)
19	A1	B2	A3	A4	B5	Y(19)
20	B1	B2	A3	A4	B5	Y(20)
21	A1	A2	B3	A4	B5	Y(21)
22	B1	A2	B3	A4	B5	Y(22)
23	A1	B2	B3	A4	B5	Y(23)
24	B1	B2	B3	A4	B5	Y(24)
25	A1	A2	A3	B4	B5	Y(25)
26	B1	A2	A3	B4	B5	Y(26)
27	A1	B2	A3	B4	B5	Y(27)
28	B1	B2	A3	B4	B5	Y(28)
29	A1	A2	B3	B4	B5	Y(29)
30	B1	A2	B3	B4	B5	Y(30)
31	A1	B2	B3	B4	B5	Y(31)
32	B1	B2	B3	B4	B5	Y(32)

Таблица 47

Планы 3^1, 4^1, 5^1 (X = 3, X = 4, X = 5)

План	Номер фактора	Фактор F(J)	Показатель Y(J)
3^1	1	A1	Y(1)
	2	B1	Y(2)
	3	E1	Y(3)
4^1	1	A1	Y(1)
	2	B1	Y(2)
	3	C1	Y(3)
	4	D1	Y(4)
5^1	1	A1	Y(1)
	2	B1	Y(2)
	3	C1	Y(3)
	4	D1	Y(4)
	5	E1	Y(5)

Таблица 48

План 4^2 (X = 16)

Номер опыта	Факторы		Показатель Y(J)
	F(J)	H(J)	
1	A1	A2	Y(1)
2	B1	A2	Y(2)
3	A1	B2	Y(3)
4	B1	B2	Y(4)
5	A1	C2	Y(5)
6	B1	C2	Y(6)
7	A1	D2	Y(7)
8	B1	D2	Y(8)
9	C1	A2	Y(9)
10	C1	C2	Y(10)
11	C1	D2	Y(11)
12	C1	B2	Y(12)
13	D1	A2	Y(13)
14	D1	C2	Y(14)
15	D1	D2	Y(15)
16	D1	B2	Y(16)

Таблица49

План 3 · 5 (X = 15)

Номер опыта	Факторы		Показатель
	F(J)	H(J)	Y(J)
1	A1	A2	Y(1)
2	B1	A2	Y(2)
3	A1	B2	Y(3)
4	B1	B2	Y(4)
5	A1	E2	Y(5)
6	B1	E2	Y(6)
7	E1	A1	Y(7)
8	E1	B2	Y(8)
9	E1	E2	Y(9)
10	A1	C2	Y(10)
11	B1	D2	Y(11)
12	A1	D2	Y(12)
13	B1	C2	Y(13)
14	E1	C2	Y(14)
15	E1	D2	Y(15)

Таблица 50

Планы 3^2, 5^2 (X = 9, X = 25)

План	Номер опыта	Факторы		Показатель
		F(J)	H(J)	Y(J)
3^2	1	A1	A2	Y(1)
	2	B1	A2	Y(2)
	3	A1	B2	Y(3)
	4	B1	B2	Y(4)
	5	A1	E2	Y(5)
	6	B1	E2	Y(6)
	7	E1	A2	Y(7)
	8	E1	B2	Y(8)
	9	E1	E2	Y(9)
5^2	10	A1	C2	Y(10)
	11	B1	D2	Y(11)
	12	A1	D2	Y(12)
	13	B1	C2	Y(13)
	14	E1	C2	Y(14)
	15	E1	D2	Y(15)
	16	C1	A2	Y(16)
	17	C1	C2	Y(17)
	18	C1	E2	Y(18)
	19	C1	D2	Y(19)
	20	C1	B2	Y(20)
	21	D1	A2	Y(21)
	22	D1	C2	Y(22)
	23	D1	E2	Y(23)
	24	D1	D2	Y(24)
	25	D1	B2	Y(25)

Таблица 51

План 3^3 (X = 27)

Номер опыта	Факторы			Показатель
	F(J)	H(J)	L(J)	Y(J)
1	A1	A2	A3	Y(1)
2	B1	A2	A3	Y(2)
3	A1	B2	A3	Y(3)
4	B1	B2	A3	Y(4)
5	A1	A2	B3	Y(5)
6	B1	A2	B3	Y(6)
7	A1	B2	B3	Y(7)
8	B1	B2	B3	Y(8)
9	A1	E2	E3	Y(9)
10	B1	E2	E3	Y(10)
11	E1	A2	E3	Y(11)
12	E1	B2	E3	Y(12)
13	E1	E2	A3	Y(13)
14	E1	E2	B3	Y(14)
15	A1	A2	E3	Y(15)
16	B1	A2	E3	Y(16)
17	A1	B2	E3	Y(17)
18	B1	B2	E3	Y(18)
19	A1	E2	A3	Y(19)
20	B1	E2	A3	Y(20)
21	A1	E2	B3	Y(21)
22	B1	E2	B3	Y(22)
23	E1	A2	A3	Y(23)
24	E1	B2	A3	Y(24)
25	E1	A2	B3	Y(25)
26	E1	B2	B3	Y(26)
27	E1	E2	E3	Y(27)

Таблица 52

План 4 · 5 (X = 20)

Номер опыта	Факторы		Показатель
	F(J)	H(J)	Y(J)
1	A1	A2	Y(1)
2	B1	A2	Y(2)
3	A1	B2	Y(3)
4	B1	B2	Y(4)
5	A1	E2	Y(5)
6	B1	E2	Y(6)
7	A1	C2	Y(7)
8	B1	D2	Y(8)
9	A1	D2	Y(9)
10	B1	C2	Y(10)
11	C1	A2	Y(11)
12	C1	C2	Y(12)
13	C1	E2	Y(13)
14	C1	D2	Y(14)
15	C1	B2	Y(15)
16	D1	A2	Y(16)
17	D1	C2	Y(17)
18	D1	E2	Y(18)
19	D1	D2	Y(19)
20	D1	B2	Y(20)

Таблица 53

План 3 · 4 (X = 12)

Номер опыта	Факторы		Показатель Y(J)
	F(J)	H(J)	
1	A1	A2	Y(1)
2	B1	A2	Y(2)
3	A1	B2	Y(3)
4	B1	B2	Y(4)
5	E1	A2	Y(5)
6	E1	B2	Y(6)
7	A1	C2	Y(7)
8	B1	D2	Y(8)
9	A1	D2	Y(9)
10	B1	C2	Y(10)
11	E1	C2	Y(11)
12	E1	D2	Y(12)

Обозначение: X – количество опытов по плану.

ПРОГРАММА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ VL0 ДЛЯ СЛУЧАЕВ ПЛАНИРОВАНИЯ 2^1 (X = 2), 2^2 (X = 4), 2^3 (X = 8), 2^4 (X = 16), 2^5 (X = 32)

```
5 PRINT "ПРОГРАММА VL0,РАЗРАБОТКА А.А.ЧЕРНОГО"
6 CLS
7 PRINT "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ VL0"
8 PRINT "ЗАНОСЯТСЯ В ФАЙЛ,ИМЯ КОТОРОГО НАДО ВВЕСТИ,"
9 PRINT "НАПРИМЕР, ВВЕСТИ ИМЯ ФАЙЛА  VL01"
10 INPUT "ВВОД ИМЕНИ ФАЙЛА  ", FA$
11 OPEN "O", #1, FA$
17 PRINT #1, "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ VL0 ЗАНОСЯТСЯ В ФАЙЛ "; FA$
40 PRINT "X=2,X=4,X=8,X=16,X=32"
41 PRINT #1, "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ VL0,РАЗРАБОТАННОЙ А.А. ЧЕРНЫМ"
42 DIM F(50), H(50), L(50), K(50), M(50), Y(32), I(50), P(50)
44 DIM U(50), Q(50), V(50), O(32), B(32), Z(50), G(20), T(32)
46 DIM K6(50), K7(50), K8(50), J7(50), J8(50), J9(50)
55 PRINT "КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ "
56 PRINT #1, "ВВОД X-КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ "
60 INPUT X: PRINT #1, "X="; X
61 PRINT "ВВОД ВЕЛИЧИН ФАКТОРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕПЕНИ"
62 PRINT #1, "ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕПЕНИ"
70 PRINT "ВВОД A1,B1,J1": INPUT A1, B1, J1
75 PRINT #1, "A1="; A1; "B1="; B1; "J1="; J1
80 A = A1: B = B1: N = J1: GOSUB 2480
90 V1 = V0: PRINT #1, "V1="; V1: IF X = 2 GOTO 220
100 PRINT "ВВОД A2,B2,J2": INPUT A2, B2, J2
105 PRINT #1, "A2="; A2; "B2="; B2; "J2="; J2
110 A = A2: B = B2: N = J2: GOSUB 2480
120 V2 = V0: PRINT #1, "V2="; V2: IF X = 4 GOTO 220
130 PRINT "ВВОД A3,B3,J3": INPUT A3, B3, J3
135 PRINT #1, "A3="; A3; "B3="; B3; "J3="; J3
140 A = A3: B = B3: N = J3: GOSUB 2480
150 V3 = V0: PRINT #1, "V3="; V3: IF X = 8 GOTO 220
160 PRINT "ВВОД A4,B4,J4": INPUT A4, B4, J4
165 PRINT #1, "A4="; A4; "B4="; B4; "J4="; J4
170 A = A4: B = B4: N = J4: GOSUB 2480
180 V4 = V0: PRINT #1, "V4="; V4: IF X = 16 GOTO 220
190 PRINT "ВВОД A5,B5,J5": INPUT A5, B5, J5
195 PRINT #1, "A5="; A5; "B5="; B5; "J5="; J5
200 A = A5: B = B5: N = J5: GOSUB 2480
210 V5 = V0: PRINT #1, "V5="; V5: GOTO 220
215 REM ПЛАНЫ
220 F(1) = A1: F(2) = B1: IF X = 2 GOTO 580
230 H(1) = A2: H(2) = A2: F(3) = A1: H(3) = B2
240 F(4) = B1: H(4) = B2: IF X = 4 GOTO 580
250 L(1) = A3: L(2) = A3: L(3) = A3: L(4) = A3
260 F(5) = A1: H(5) = A2: L(5) = B3: F(6) = B1: H(6) = A2
270 L(6) = B3: F(7) = A1: H(7) = B2: L(7) = B3: F(8) = B1
280 H(8) = B2: L(8) = B3: IF X = 8 GOTO 580
290 K(1) = A4: K(2) = A4: K(3) = A4: K(4) = A4: K(5) = A4
300 K(6) = A4: K(7) = A4: K(8) = A4: F(9) = A1: H(9) = A2
310 L(9) = A3: K(9) = B4: F(10) = B1: H(10) = A2: L(10) = A3
320 K(10) = B4: F(11) = A1: H(11) = B2: L(11) = A3: K(11) = B4
330 F(12) = B1: H(12) = B2: L(12) = A3: K(12) = B4: F(13) = A1
340 H(13) = A2: L(13) = B3: K(13) = B4: F(14) = B1: H(14) = A2
350 L(14) = B3: K(14) = B4: F(15) = A1: H(15) = B2: L(15) = B3
360 K(15) = B4: F(16) = B1: H(16) = B2: L(16) = B3: K(16) = B4
370 IF X = 16 GOTO 580
380 M(1) = A5: M(2) = A5: M(3) = A5: M(4) = A5: M(5) = A5
390 M(6) = A5: M(7) = A5: M(8) = A5: M(9) = A5: M(10) = A5
```

```
400 M(11) = A5: M(12) = A5: M(13) = A5: M(14) = A5: M(15) = A5
410 M(16) = A5: F(17) = A1: H(17) = A2: L(17) = A3: K(17) = A4
420 M(17) = B5: F(18) = B1: H(18) = A2: L(18) = A3: K(18) = A4
430 M(18) = B5: F(19) = A1: H(19) = B2: L(19) = A3: K(19) = A4
440 M(19) = B5: F(20) = B1: H(20) = B2: L(20) = A3: K(20) = A4
450 M(20) = B5: F(21) = A1: H(21) = A2: L(21) = B3: K(21) = A4
460 M(21) = B5: F(22) = B1: H(22) = A2: L(22) = B3: K(22) = A4
470 M(22) = B5: F(23) = A1: H(23) = B2: L(23) = B3: K(23) = A4
480 M(23) = B5: F(24) = B1: H(24) = B2: L(24) = B3: K(24) = A4
490 M(24) = B5: F(25) = A1: H(25) = A2: L(25) = A3: K(25) = B4
500 M(25) = B5: F(26) = B1: H(26) = A2: L(26) = A3: K(26) = B4
510 M(26) = B5: F(27) = A1: H(27) = B2: L(27) = A3: K(27) = B4
520 M(27) = B5: F(28) = B1: H(28) = B2: L(28) = A3: K(28) = B4
530 M(28) = B5: F(29) = A1: H(29) = A2: L(29) = B3: K(29) = B4
540 M(29) = B5: F(30) = B1: H(30) = A2: L(30) = B3: K(30) = B4
550 M(30) = B5: F(31) = A1: H(31) = B2: L(31) = B3: K(31) = B4
560 M(31) = B5: F(32) = B1: H(32) = B2: L(32) = B3: K(32) = B4
570 M(32) = B5
580 PRINT "IF I0=6 GOTO 40-НАЧАЛО"
585 PRINT "IF I0=7 GOTO 610-ПРОДОЛЖЕНИЕ"
590 INPUT I0: IF I0 = 6 GOTO 40
600 IF I0 = 7 GOTO 610
610 PRINT "ВВОД ВЕЛИЧИН ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО ПЛАНУ Y(J)"
611 PRINT #1, "ВВОД ВЕЛИЧИН ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СООТВЕТСТВИИ С ПЛАНОМ Y(J)"
615 FOR J = 1 TO X: PRINT "ВВОД Y("; J; ")": INPUT Y(J)
620 PRINT #1, "Y("; J; ")="; Y(J): NEXT J
630 PRINT "IF I0=1 GOTO 610-ПОВТОРЕНИЕ ВВОДА ПОКАЗАТЕЛЕЙ"
635 PRINT "IF I0=2 GOTO 660-ПРОДОЛЖЕНИЕ"
640 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0: IF I0 = 1 GOTO 610
650 IF I0 = 2 GOTO 660
660 IF X = 2 GOTO 710
670 IF X = 4 GOTO 720
680 IF X = 8 GOTO 730
690 IF X = 16 GOTO 740
700 IF X = 32 GOTO 760
710 GOSUB 2490: GOTO 780
720 GOSUB 2490: GOSUB 2500: GOTO 780
730 GOSUB 2490: GOSUB 2500: GOSUB 2510: GOTO 780
740 GOSUB 2490: GOSUB 2500: GOSUB 2510: GOSUB 2520
750 GOTO 780
760 GOSUB 2490: GOSUB 2500: GOSUB 2510: GOSUB 2520
770 GOSUB 2530: GOTO 780
780 S = 0: O(1) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + Y(J): O(1) = O(1) + 1: NEXT J
790 B(1) = S / O(1): S = 0: O(2) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * Y(J)
800 O(2) = O(2) + I(J) ^ 2: NEXT J: B(2) = S / O(2): IF X = 2 GOTO 1440
810 S = 0: O(3) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * Y(J): O(3) = O(3) + P(J) ^ 2
820 NEXT J: B(3) = S / O(3): S = 0: O(4) = 0: FOR J = 1 TO X
830 S = S + I(J) * P(J) * Y(J): O(4) = O(4) + (I(J) * P(J)) ^ 2: NEXT J
840 B(4) = S / O(4): IF X = 4 GOTO 1440
850 S = 0: O(5) = 0
860 FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * Y(J): O(5) = O(5) + U(J) ^ 2
870 NEXT J: B(5) = S / O(5): S = 0: O(6) = 0: FOR J = 1 TO X
880 S = S + I(J) * U(J) * Y(J): O(6) = O(6) + (I(J) * U(J)) ^ 2: NEXT J
890 B(6) = S / O(6): S = 0: O(7) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * U(J) * Y(J)
900 O(7) = O(7) + (P(J) * U(J)) ^ 2: NEXT J: B(7) = S / O(7): S = 0: O(8) = 0
910 FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * P(J) * U(J) * Y(J)
920 O(8) = O(8) + (I(J) * P(J) * U(J)) ^ 2: NEXT J: B(8) = S / O(8)
930 IF X = 8 GOTO 1440
940 S = 0: O(9) = 0: FOR J = 1 TO X
950 S = S + Q(J) * Y(J): O(9) = O(9) + Q(J) ^ 2: NEXT J: B(9) = S / O(9)
960 S = 0: O(10) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * Q(J) * Y(J)
970 O(10) = O(10) + (I(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(10) = S / O(10): S = 0
980 O(11) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * Q(J) * Y(J)
```

```
990 O(11) = O(11) + (P(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(11) = S / O(11): S = 0
1000 O(12) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * P(J) * Q(J) * Y(J)
1010 O(12) = O(12) + (I(J) * P(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(12) = S / O(12)
1020 S = 0: O(13) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * Q(J) * Y(J)
1030 O(13) = O(13) + (U(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(13) = S / O(13): S = 0
1040 O(14) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * U(J) * Q(J) * Y(J)
1050 O(14) = O(14) + (I(J) * U(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(14) = S / O(14): S = 0
1060 O(15) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * U(J) * Q(J) * Y(J)
1070 O(15) = O(15) + (P(J) * U(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(15) = S / O(15): S = 0
1080 O(16) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * P(J) * U(J) * Q(J) * Y(J)
1090 O(16) = O(16) + (I(J) * P(J) * U(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(16) = S / O(16)
1100 IF X = 16 GOTO 1440
1110 S = 0: O(17) = 0: FOR J = 1 TO X
1120 S = S + V(J) * Y(J): O(17) = O(17) + V(J) ^ 2: NEXT J: B(17) = S / O(17)
1130 S = 0: O(18) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * V(J) * Y(J)
1140 O(18) = O(18) + (I(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(18) = S / O(18): S = 0
1150 O(19) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * V(J) * Y(J)
1160 O(19) = O(19) + (P(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(19) = S / O(19): S = 0
1170 O(20) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * P(J) * V(J) * Y(J)
1180 O(20) = O(20) + (I(J) * P(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(20) = S / O(20)
1190 S = 0: O(21) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * V(J) * Y(J)
1200 O(21) = O(21) + (U(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(21) = S / O(21)
1210 S = 0: O(22) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * U(J) * V(J) * Y(J)
1220 O(22) = O(22) + (I(J) * U(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(22) = S / O(22)
1230 S = 0: O(23) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * U(J) * V(J) * Y(J)
1240 O(23) = O(23) + (P(J) * U(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(23) = S / O(23)
1250 S = 0: O(24) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * P(J) * U(J) * V(J) * Y(J)
1260 O(24) = O(24) + (I(J) * P(J) * U(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(24) = S / O(24)
1270 S = 0: O(25) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + Q(J) * V(J) * Y(J)
1280 O(25) = O(25) + (Q(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(25) = S / O(25)
1290 S = 0: O(26) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * Q(J) * V(J) * Y(J)
1300 O(26) = O(26) + (I(J) * Q(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(26) = S / O(26)
1310 S = 0: O(27) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * Q(J) * V(J) * Y(J)
1320 O(27) = O(27) + (P(J) * Q(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(27) = S / O(27)
1330 S = 0: O(28) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * P(J) * Q(J) * V(J) * Y(J)
1340 O(28) = O(28) + (I(J) * P(J) * Q(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(28) = S / O(28)
1350 S = 0: O(29) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * Q(J) * V(J) * Y(J)
1360 O(29) = O(29) + (U(J) * Q(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(29) = S / O(29)
1370 S = 0: O(30) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * U(J) * Q(J) * V(J) * Y(J)
1380 O(30) = O(30) + (I(J) * U(J) * Q(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(30) = S / O(30)
1390 S = 0: O(31) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * U(J) * Q(J) * V(J) * Y(J)
1400 O(31) = O(31) + (P(J) * U(J) * Q(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(31) = S / O(31)
1410 S = 0: O(32) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * P(J) * U(J) * Q(J) * V(J) * Y(J)
1420 O(32) = O(32) + (I(J) * P(J) * U(J) * Q(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J
1430 B(32) = S / O(32): GOTO 1440
1440 PRINT #1, "B(J) ДО АНАЛИЗА": FOR J = 1 TO X
1445 PRINT #1, "B("; J; ")="; B(J)
1450 NEXT J: GOTO 1454
1454 PRINT "ВВОД N0-КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ"
1456 PRINT #1, "N0-КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ"
1455 INPUT N0
1460 PRINT #1, "N0="; N0
1470 IF X = 2 GOTO 1520
1480 IF X = 4 GOTO 1530
1490 IF X = 8 GOTO 1540
1500 IF X = 16 GOTO 1550
1510 IF X = 32 GOTO 1560
1520 GOSUB 2540: GOTO 1570
1530 GOSUB 2550: GOTO 1570
1540 GOSUB 2570: GOTO 1570
1550 GOSUB 2600: GOTO 1570
1560 GOSUB 2670: GOTO 1570
1570 PRINT #1, "РАСЧЕТНЫЕ.ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЯ Z(J) ДО АНАЛИЗА B(J)"
```

```
1580 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Z("; J; ")="; Z(J): NEXT J
1590 PRINT #1, "ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ Y(J)-Z(J)"
1600 PRINT #1, "В ПРОЦЕНТАХ (Y(J)-Z(J) * (100 / Y(J))"
1601 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Y("; J; ")-Z("; J; ")="; Y(J) - Z(J)
1602 PRINT #1, "(Y("; J; ")-Z("; J; ")) * (100 / Y("; J; ")) = "; (Y(J) - Z(J)) * (100 / Y(J))
1603 NEXT J
1604 PRINT "ВВОД F8=N0-1": INPUT F8: PRINT #1, "F8=N0-1="; N0; "-1="; F8
1620 PRINT "IF I0=3 GOTO 1710-ВВОД РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ"
1622 PRINT "                    НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ"
1625 PRINT "IF I0=4 GOTO 1760-ВВОД ДИСПЕРСИИ ОПЫТОВ"
1630 PRINT "IF I0=5 GOTO 2150-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И"
1633 PRINT "                  РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
1635 PRINT "IF I0=6 GOTO 40-НАЧАЛО"
1640 PRINT "IF I0=20 GOTO 6830-КОНЕЦ"
1641 PRINT "IF I0=25 GOTO 2820-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ"
1642 PRINT "IF I0=27 GOTO 7000-ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
1646 PRINT "        С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ И"
1647 PRINT "         ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
1650 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0: IF I0 = 3 GOTO 1710
1660 IF I0 = 4 GOTO 1760
1670 IF I0 = 5 GOTO 2150
1680 IF I0 = 6 GOTO 40
1690 IF I0 = 20 GOTO 6830
1700 IF I0 = 25 GOTO 2820
1705 IF I0 = 27 GOTO 7000
1710 PRINT "ВВОД РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ "
1711 PRINT "НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ "
1712 PRINT #1, "РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ ";
1713 PRINT #1, "НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ "
1715 FOR J = 1 TO N0: PRINT "ВВОД G("; J; ")": INPUT G(J)
1720 PRINT #1, "G("; J; ")="; G(J): NEXT J: S = 0: FOR J = 1 TO N0: S = S + G(J)
1730 NEXT J: S0 = S / N0: PRINT "S0="; S0: S = 0: FOR J = 1 TO N0
1740 S = S + (G(J) - S0) ^ 2: NEXT J: U9 = S / F8
1745 PRINT #1, "ДИСПЕРСИЯ ОПЫТОВ U9="; U9
1750 GOTO 1770
1760 PRINT "ВВОД U9": INPUT U9: PRINT #1, "ДИСПЕРСИЯ ОПЫТОВ U9="; U9
1770 PRINT #1, "РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ T(J)": FOR J = 1 TO X
1780 T(J) = ABS(B(J) / SQR(U9 / O(J))): PRINT #1, "T("; J; ")="; T(J): NEXT J
1781 PRINT "                    ДЛЯ УРОВНЯ ЗНАЧИМОСТИ 5% "
1782 PRINT "          ПРИ F8    2   ;  3   ;    4 ;  5   ; 6"
1783 PRINT "СООТВЕТСТВЕННО T0  4.303 ;3.182 ;2.776 ;2.571 ;2.447"
1784 PRINT "F8="; F8
1785 PRINT "ВВОД T0-ТАБЛИЧНЫЙ Т-КРИТЕРИЙ"
1790 PRINT "ВВОД T0": INPUT T0: PRINT #1, "ТАБЛИЧНЫЙ Т-КРИТЕРИЙ T0="; T0
1800 PRINT #1, "B(J) ПОСЛЕ АНАЛИЗА": FOR J = 1 TO X
1810 IF T(J) < T0 GOTO 1830
1820 IF T(J) >= T0 GOTO 1840
1830 B(J) = 0
1840 PRINT #1, "B("; J; ")="; B(J): NEXT J
1850 K9 = 0: FOR J = 1 TO X: IF B(J) = 0 GOTO 1852
1851 K9 = K9 + 1: NEXT J
1852 PRINT #1, "КОЛИЧЕСТВО СТАТИСТИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ"
1853 PRINT #1, "          КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГРЕССИИ K9="; K9
1862 PRINT "F9=X-1": F9 = X - 1: PRINT #1, "F9=X-1="; F9: CLS
1863 PRINT "!   ! ЗНАЧЕНИЯ F-КРИТЕРИЯ F7 ДЛЯ 5%-ГО УРОВНЯ ЗНАЧИМОСТИ"
1864 PRINT "!   !-----------------------------------------------"
1865 PRINT "! F8!                    F9                    "
1866 PRINT "!   !-----------------------------------------------"
1867 PRINT "!   !   1    !   3    !   7   ! 15...16 ! 30...31 !"
1868 PRINT "-------------------------------------------------"
1869 PRINT "! 2 !  18.51 ! 19.16  ! 19.36 ! 19.43   !  19.46  !"
1870 PRINT "! 3 !  10.13 !  9.28  !  8.88 !  8.69   !   8.62  !"
1871 PRINT "! 4 !   7.71 !  6.59  !  6.09 !  5.84   !   5.74  !"
```

```
1872 PRINT "! 5 !   6.61 !  5.41  !  4.88 !  4.6    !   4.5   !"
1873 PRINT "! 6 !   5.99 !  4.76  !  4.21 !  3.92   !   3.81  !"
1874 PRINT "!=================================================!"
1887 PRINT "F8="; F8; "F9="; F9
1890 PRINT "ВВОД ТАБЛИЧНОГО F7-ТАБЛИЧНЫЙ F-КРИТЕРИЙ"
1891 INPUT F7: PRINT #1, "ТАБЛИЧНЫЙ F-КРИТЕРИЙ F7="; F7
1900 IF X = 2 GOTO 1950
1910 IF X = 4 GOTO 1960
1920 IF X = 8 GOTO 1970
1930 IF X = 16 GOTO 1980
1940 IF X = 32 GOTO 1990
1950 GOSUB 2540: GOTO 2000
1960 GOSUB 2550: GOTO 2000
1970 GOSUB 2570: GOTO 2000
1980 GOSUB 2600: GOTO 2000
1990 GOSUB 2670: GOTO 2000
2000 PRINT #1, "РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЯ  ";
2005 PRINT #1, "Z(J) ПОСЛЕ АНАЛИЗА B(J)"
2010 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Z("; J; ")="; Z(J): NEXT J
2011 PRINT #1, "ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ Y(J)-Z(J)"
2012 PRINT #1, "В ПРОЦЕНТАХ (Y(J)-Z(J) * (100 / Y(J))"
2013 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Y("; J; ")-Z("; J; ")="; Y(J) - Z(J)
2014 PRINT #1, "(Y("; J; ")-Z("; J; ")) * (100 / Y("; J; ")) = "; (Y(J) - Z(J)) * (100 / Y(J))
2015 NEXT J
2020 S = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + (Z(J) - Y(J)) ^ 2: NEXT J
2025 F6 = S / (F9 * U9)
2030 PRINT #1, "РАСЧЕТНАЯ ВЕЛИЧИНА F-КРИТЕРИЯ F6="; F6
2040 IF F6 <= F7 GOTO 2060
2050 IF F6 > F7 GOTO 2070
2060 PRINT #1, "АДЕКВАТНО,ТАК КАК F6<=F7": GOTO 2080
2070 PRINT #1, "НЕАДЕКВАТНО,ТАК КАК F6>F7"; ""
2080 PRINT "I0=7 GOTO 2150-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И"
2081 PRINT "              РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
2085 PRINT "I0=8 GOTO   40-НАЧАЛО"
2090 PRINT "I0=17 GOTO 2820-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ"
2091 PRINT "I0=9 GOTO 6830-КОНЕЦ"
2095 PRINT "IF I0=22 GOTO 7000-ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
2096 PRINT "                 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФИКОВ И"
2097 PRINT "                 ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
2100 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0
2110 IF I0 = 7 GOTO 2150
2120 IF I0 = 8 GOTO 40
2130 IF I0 = 17 GOTO 2820
2140 IF I0 = 9 GOTO 6830
2145 IF I0 = 22 GOTO 7000
2150 PRINT "ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
2151 PRINT "F(S),H(S),L(S),K(S),M(S)-1,2,3,4,5 ФАКТОРЫ,"
2152 PRINT "ГДЕ S=X="; X; "-КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ"
2153 PRINT #1, "РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
2160 IF X = 2 GOTO 2210
2170 IF X = 4 GOTO 2240
2180 IF X = 8 GOTO 2270
2190 IF X = 16 GOTO 2310
2200 IF X = 32 GOTO 2360
2210 FOR S = 1 TO X: F(S) = 0: Z(S) = 0: PRINT "ВВОД F("; S; ")":
2220 INPUT F(S): PRINT #1, "ФАКТОРЫ F("; S; ")="; F(S): GOSUB 2490
2230 GOSUB 2540: GOTO 2235
2235 PRINT #1, "Z("; S; ")="; Z(S): NEXT S : GOTO 2430
2240 FOR S = 1 TO X: F(S) = 0: H(S) = 0: Z(S) = 0
2250 PRINT "ВВОД F("; S; "),H("; S; ")": INPUT F(S), H(S)
2260 PRINT #1, "ФАКТОРЫ F("; S; ")="; F(S); "H("; S; ")="; H(S)
2262 GOSUB 2490: GOSUB 2500: GOSUB 2550: GOTO 2264
2264 PRINT #1, "Z("; S; ")="; Z(S): NEXT S: GOTO 2430
```

```
2270 FOR S = 1 TO X: F(S) = 0: H(S) = 0: L(S) = 0: Z(S) = 0
2280 PRINT "ВВОД F("; S; "),H("; S; "),L("; S; ")"
2290 INPUT F(S), H(S), L(S): PRINT #1, "ФАКТОРЫ F("; S; ")="; F(S)
2300 PRINT #1, "ФАКТОРЫ H("; S; ")="; H(S); "L("; S; ")="; L(S): GOSUB 2490
2302 GOSUB 2500: GOSUB 2510: GOSUB 2570: GOTO 2304
2304 PRINT #1, "Z("; S; ")="; Z(S): NEXT S: GOTO 2430
2310 FOR S = 1 TO X: F(S) = 0: H(S) = 0: L(S) = 0: K(S) = 0
2320 Z(S) = 0: PRINT "ВВОД F("; S; "),H("; S; "),L("; S; "),"; "K("; S; ")"
2330 INPUT F(S), H(S), L(S), K(S): PRINT #1, "ФАКТОРЫ F("; S; ")="; F(S)
2340 PRINT #1, "ФАКТОРЫ H("; S; ")="; H(S); "L("; S; ")="; L(S)
2345 PRINT #1, "K("; S; ")="; K(S)
2350 GOSUB 2490: GOSUB 2500: GOSUB 2510: GOSUB 2520: GOSUB 2600: GOTO 2352
2352 PRINT #1, "Z("; S; ")="; Z(S): NEXT S: GOTO 2430
2360 FOR S = 1 TO X: F(S) = 0: H(S) = 0: L(S) = 0: K(S) = 0
2370 M(S) = 0: Z(S) = 0: PRINT "ВВОД F("; S; "),H("; S; "),L("; S; ")"
2380 INPUT F(S), H(S), L(S): PRINT "ВВОД K("; S; "),M("; S; ")"
2390 INPUT K(S), M(S): PRINT #1, "ФАКТОРЫ F("; S; ")="; F(S)
2400 PRINT #1, "ФАКТОРЫ H("; S; ")="; H(S); "L("; S; ")="; L(S)
2410 PRINT #1, "ФАКТОРЫ K("; S; ")="; K(S); "M("; S; ")="; M(S)
2420 GOSUB 2490: GOSUB 2500: GOSUB 2510: GOSUB 2520
2422 GOSUB 2530: GOSUB 2670: GOTO 2425
2425 PRINT #1, "Z("; S; ")="; Z(S): NEXT S: GOTO 2430
2430 PRINT "IF I0=10 GOTO 2150-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
2431 PRINT "IF I0=11 GOTO 2820 -МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ"
2435 PRINT "IF I0=14 GOTO 7000-ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
2436 PRINT "                С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ И"
2437 PRINT "                ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
2440 PRINT "IF I0=12 GOTO 6830-КОНЕЦ"
2445 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0
2450 IF I0 = 10 GOTO 2150
2460 IF I0 = 11 GOTO 2820
2465 IF I0 = 14 GOTO 7000
2470 IF I0 = 12 GOTO 6830
2480 V0 = -(A ^ N + B ^ N) / 2
2485 PRINT #1, "КОЭФФИЦИЕНТ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ": RETURN
2490 FOR J = 1 TO X: I(J) = F(J) ^ J1 + V1: NEXT J: RETURN
2500 FOR J = 1 TO X: P(J) = H(J) ^ J2 + V2: NEXT J: RETURN
2510 FOR J = 1 TO X: U(J) = L(J) ^ J3 + V3: NEXT J: RETURN
2520 FOR J = 1 TO X: Q(J) = K(J) ^ J4 + V4: NEXT J: RETURN
2530 FOR J = 1 TO X: V(J) = M(J) ^ J5 + V5: NEXT J: RETURN
2540 FOR J = 1 TO X: Z(J) = B(1) + B(2) * I(J): NEXT J: RETURN
2550 FOR J = 1 TO X: Z(J) = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * P(J) + B(4) * I(J) * P(J)
2560 NEXT J: RETURN
2570 FOR J = 1 TO X: N3 = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * P(J) + B(4) * I(J) * P(J)
2580 N4 = B(5) * U(J) + B(6) * I(J) * U(J) + B(7) * P(J) * U(J)
2590 Z(J) = N3 + N4 + B(8) * I(J) * P(J) * U(J)
2595 NEXT J: RETURN
2600 FOR J = 1 TO X: N3 = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * P(J) + B(4) * I(J) * P(J)
2610 N4 = B(5) * U(J) + B(6) * I(J) * U(J) + B(7) * P(J) * U(J)
2620 N5 = B(8) * I(J) * P(J) * U(J) + B(9) * Q(J) + B(10) * I(J) * Q(J)
2630 N6 = B(11) * P(J) * Q(J) + B(12) * I(J) * P(J) * Q(J) + B(13) * U(J) * Q(J)
2640 N7 = B(14) * I(J) * U(J) * Q(J) + B(15) * P(J) * U(J) * Q(J)
2650 Z(J) = N3 + N4 + N5 + N6 + N7 + B(16) * I(J) * P(J) * U(J) * Q(J)
2660 NEXT J: RETURN
2670 FOR J = 1 TO X: N3 = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * P(J) + B(4) * I(J) * P(J)
2680 N4 = B(5) * U(J) + B(6) * I(J) * U(J) + B(7) * P(J) * U(J)
2690 N5 = B(8) * I(J) * P(J) * U(J) + B(9) * Q(J) + B(10) * I(J) * Q(J)
2700 N6 = B(11) * P(J) * Q(J) + B(12) * I(J) * P(J) * Q(J) + B(13) * U(J) * Q(J)
2710 N7 = B(14) * I(J) * U(J) * Q(J) + B(15) * P(J) * U(J) * Q(J)
2720 R0 = B(16) * I(J) * P(J) * U(J) * Q(J) + B(17) * V(J)
2730 R4 = B(18) * I(J) * V(J) + B(19) * P(J) * V(J) + B(20) * I(J) * P(J) * V(J)
2740 R5 = B(21) * U(J) * V(J) + B(22) * I(J) * U(J) * V(J)
2750 R6 = B(23) * P(J) * U(J) * V(J) + B(24) * I(J) * P(J) * U(J) * V(J)
```

```
2760 Z2 = B(25) * Q(J) * V(J) + B(26) * I(J) * Q(J) * V(J)
2770 Z3 = B(27) * P(J) * Q(J) * V(J) + B(28) * I(J) * P(J) * Q(J) * V(J)
2780 Z4 = B(29) * U(J) * Q(J) * V(J) + B(30) * I(J) * U(J) * Q(J) * V(J)
2790 Z5 = B(31) * P(J) * U(J) * Q(J) * V(J) + B(32) * I(J) * P(J) * U(J) * Q(J) * V(J)
2800 Z(J) = N3 + N4 + N5 + N6 + N7 + R0 + R4 + R5 + R6 + Z2 + Z3 + Z4 + Z5
2810 NEXT J: RETURN
2820 PRINT #1, "МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ": GOTO 2830
2830 IF X = 2 GOTO 2880
2840 IF X = 4 GOTO 2900
2850 IF X = 8 GOTO 2930
2860 IF X = 16 GOTO 2975
2861 IF X = 32 GOTO 3070
2880 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J),"
2890 IF X = 2 GOTO 3250
2900  PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*P(J)+"
2910 PRINT #1, " +"; B(4); "*I(J)*P(J),"
2920 IF X = 4 GOTO 3250
2930 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*P(J)+"
2940 PRINT #1, " +"; B(4); "*I(J)*P(J)+"; B(5); "*U(J)+"
2950 PRINT #1, " +"; B(6); "*I(J)*U(J)+"; B(7); "*P(J)*U(J)+"
2960 PRINT #1, " +"; B(8); "*I(J)*P(J)*U(J),"
2970 IF X = 8 GOTO 3250
2975 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*P(J)+"
2990 PRINT #1, " +"; B(4); "*I(J)*P(J)+"; B(5); "*U(J)+"
3000 PRINT #1, " +"; B(6); "*I(J)*U(J)+"; B(7); "*P(J)*U(J)+"
3010 PRINT #1, " +"; B(8); "*I(J)*P(J)*U(J)+"; B(9); "*Q(J)+"
3020 PRINT #1, " +"; B(10); "*I(J)*Q(J)+"; B(11); "*P(J)*Q(J)+"
3030 PRINT #1, " +"; B(12); "*I(J)*P(J)*Q(J)+"; B(13); "*U(J)*Q(J)+"
3040 PRINT #1, " +"; B(14); "I(J)*U(J)*Q(J)+"; B(15); "*P(J)*U(J)*Q(J)+"
3050 PRINT #1, " +"; B(16); "I(J)*P(J)*U(J)*Q(J),"
3060 IF X = 16 GOTO 3250
3070 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*P(J)+"
3080 PRINT #1, " +"; B(4); "*I(J)*P(J)+"; B(5); "*U(J)+"
3090 PRINT #1, " +"; B(6); "*I(J)*U(J)+"; B(7); "*P(J)*U(J)+"
3100 PRINT #1, " +"; B(8); "*I(J)*P(J)*U(J)+"; B(9); "*Q(J)+"
3110 PRINT #1, " +"; B(10); "*I(J)*Q(J)+"; B(11); "*P(J)*Q(J)+"
3120 PRINT #1, " +"; B(12); "*I(J)*P(J)*Q(J)+"; B(13); "*U(J)*Q(J)+"
3130 PRINT #1, " +"; B(14); "I(J)*U(J)*Q(J)+"; B(15); "*P(J)*U(J)*Q(J)+"
3140 PRINT #1, " +"; B(16); "I(J)*P(J)*U(J)*Q(J)+"; B(17); "*V(J)+"
3150 PRINT #1, " +"; B(18); "*I(J)*V(J)+"; B(19); "P(J)*V(J)+"
3160 PRINT #1, " +"; B(20); "*I(J)*P(J)*V(J)+"; B(21); "*U(J)*V(J)+"
3170 PRINT #1, " +"; B(22); "*I(J)*U(J)*V(J)+"; B(23); "*P(J)*U(J)*V(J)+"
3180 PRINT #1, " +"; B(24); "*I(J)*P(J)*U(J)*V(J)+"; B(25); "*Q(J)*V(J)+"
3190 PRINT #1, " +"; B(26); "*I(J)*Q(J)*V(J)+"; B(27); "*P(J)*Q(J)*V(J)+"
3200 PRINT #1, " +"; B(28); "*I(J)*P(J)*Q(J)*V(J)+"
3210 PRINT #1, " +"; B(29); "*U(J)*Q(J)*V(J)+"
3220 PRINT #1, " +"; B(30); "*I(J)*U(J)*Q(J)*V(J)+"
3230 PRINT #1, " +"; B(31); "*P(J)*U(J)*Q(J)*V(J)+"
3240 PRINT #1, " +"; B(32); "*I(J)*P(J)*U(J)*Q(J)*V(J),"
3250 PRINT #1, "ГДЕ"
3260 PRINT #1, "I(J)=F(J)^"; J1; "+"; V1
3261 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ:F(J)- 1-й ФАКТОР "
3270 IF X = 2 GOTO 3350
3280 PRINT #1, "P(J)=H(J)^"; J2; "+"; V2
3281 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ:H(J)- 2-й ФАКТОР"
3290 IF X = 4 GOTO 3350
3300 PRINT #1, "U(J)=L(J)^"; J3; "+"; V3
3301 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ:L(J)- 3-й ФАКТОР"
3310 IF X = 8 GOTO 3350
3320 PRINT #1, "Q(J)=K(J)^"; J4; "+"; V4
3321 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ:K(J)- 4-й ФАКТОР"
3330 IF X = 16 GOTO 3350
3340 PRINT #1, "V(J)=M(J)^"; J5; "+"; V5
```

```
3341 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ:M(J)- 5-й ФАКТОР"
3350 PRINT "IF I0=18 GOTO 1620-ПЕРЕХОДЫ"
3355 PRINT "IF I0=19 GOTO 2080-ПЕРЕХОДЫ"
3360 PRINT "IF I0=35 GOTO 610-ВВОД НОВЫХ Y(J)"
3365 PRINT "IF I0=44 GOTO 6830-КОНЕЦ"
3370 PRINT "IF I0=50 GOTO 40-НАЧАЛО"
3371 PRINT "IF I0=51 GOTO 2150-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И"
3372 PRINT "                РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
3373 PRINT "IF I0=52 GOTO 7000-"
3376 PRINT "            ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5) "
3378 PRINT "           С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ "
3379 PRINT "            И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
3380 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0
3390 IF I0 = 18 GOTO 1620
3400 IF I0 = 19 GOTO 2080
3410 IF I0 = 35 GOTO 610
3420 IF I0 = 44 GOTO 6830
3430 IF I0 = 50 GOTO 40
3440 IF I0 = 51 GOTO 2150
3445 IF I0 = 52 GOTO 7000
6830 CLOSE #1
6832 PRINT "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ СМОТРИ В ";
6835 PRINT "ФАЙЛЕ  "; FA$
6840 END
7000 PRINT #1, "ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
7004 PRINT #1, " ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ"
7005 PRINT #1, " С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ"
7006 PRINT #1, "И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
7030 PRINT "ВВОД I0=63 ПРИ X=2,X=4,X=8,X=16,X=32"
7040 PRINT "IF I0=64 GOTO 40-НАЧАЛО"
7050 PRINT "IF I0=65 GOTO 6830-КОНЕЦ"
7060 INPUT I0
7090 IF I0 = 63 GOTO 7190
7100 IF I0 = 64 GOTO 40
7110 IF I0 = 65 GOTO 6830
7190 PRINT "ВВОД I0=73 ПРИ X=2,ВВОД I0=74 ПРИ X=4"
7200 PRINT "ВВОД I0=75 ПРИ X=8,ВВОД I0=76 ПРИ X=16"
7210 PRINT "ВВОД I0=77 ПРИ X=32": INPUT I0
7220 IF I0 = 73 GOTO 7270
7230 IF I0 = 74 GOTO 7350
7240 IF I0 = 75 GOTO 7450
7250 IF I0 = 76 GOTO 7590
7260 IF I0 = 77 GOTO 7770
7270 F3 = 0: F4 = 0: K5 = 0: PRINT "ФАКТОР F(1)=F3+F4"
7271 PRINT #1, "ФАКТОР F(1)=F3+F4"
7280 FOR J = 1 TO X: Z(J) = 0: NEXT J: X = 0
7290 PRINT "F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ ФАКТОРА"
7291 PRINT #1, "F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ ФАКТОРА"
7292 PRINT #1, "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ ФАКТОРА"
7293 PRINT "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ ФАКТОРА"
7300 PRINT "ВВОД ПРИНЯТЫХ ВЕЛИЧИН X,F3,F4"
7310 INPUT X, F3, F4: PRINT #1, "X="; X; "F3="; F3; "F4="; F4
7320 FOR K5 = 1 TO X: F(K5) = F3 + K5 * F4
7325 PRINT #1, "F("; K5; ")="; F(K5)
7330 GOSUB 2490: GOSUB 2540: GOTO 7340
7340 PRINT #1, "Z("; K5; ")="; Z(K5): NEXT K5: GOTO 8000
7350 F3 = 0: F4 = 0: H3 = 0: H4 = 0: K5 = 0: PRINT "F(1)=F3+F4"
7360 FOR J = 1 TO X: F(J) = 0: Z(J) = 0: NEXT J: X = 0
7370 PRINT "F4,H4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 1, 2-ГО ФАКТОРОВ"
7375 PRINT "ФАКТОР H(1)=H3+H4"
7376 PRINT #1, "F4,H4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 1, 2-ГО ФАКТОРОВ"
7377 PRINT #1, "ФАКТОР H(1)=H3+H4"
7380 PRINT "ВВОД ПРИНЯТЫХ ВЕЛИЧИН X,F3,F4,H3,H4"
```

```
7390 INPUT X, F3, F4, H3, H4: PRINT #1, "X="; X; "F3="; F3
7400 PRINT #1, "F4="; F4; "H3="; H3; "H4="; H4
7410 FOR K5 = 1 TO X: F(K5) = F3 + K5 * F4
7415 PRINT #1, "F("; K5; ")= "; F(K5)
7420 H(K5) = H3 + K5 * H4: PRINT #1, "H("; K5; ")= "; H(K5)
7430 GOSUB 2490: GOSUB 2500: GOSUB 2550: GOTO 7440
7440 PRINT #1, "Z("; K5; ")="; Z(K5): NEXT K5: GOTO 8000
7450 F3 = 0: F4 = 0: H3 = 0: H4 = 0: L3 = 0: L4 = 0: K5 = 0
7460 PRINT "F(1)=F3+F4,H(1)=H3+H4,L(1)=L3+L4"
7461 PRINT #1, "F(1)=F3+F4,H(1)=H3+H4,L(1)=L3+L4"
7470 FOR J = 1 TO X: F(J) = 0: H(J) = 0: L(J) = 0: Z(J) = 0: NEXT J: X = 0
7480 PRINT "F4,H4,L4- ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 1, 2, 3-ГО ФАКТОРОВ"
7481 PRINT #1, "F4,H4,L4- ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 1, 2, 3-ГО ФАКТОРОВ"
7490 PRINT "ВВОД ПРИНЯТЫХ ВЕЛИЧИН X,F3,F4,H3,H4,L3,L4"
7500 INPUT X, F3, F4, H3, H4, L3, L4
7510 PRINT #1, "X="; X; "F3="; F3; "F4="; F4; "H3="; H3; "H4="; H4
7520 PRINT #1, "L3="; L3; "L4="; L4
7530 FOR K5 = 1 TO X: F(K5) = F3 + K5 * F4
7540 PRINT #1, "F("; K5; ")="; F(K5)
7550 H(K5) = H3 + K5 * H4: PRINT #1, "H("; K5; ")="; H(K5)
7560 L(K5) = L3 + K5 * L4: PRINT #1, "L("; K5; ")= "; L(K5)
7570 GOSUB 2490: GOSUB 2500: GOSUB 2510: GOSUB 2570: GOTO 7580
7580 PRINT #1, "Z("; K5; ")= "; Z(K5)
7585 NEXT K5: GOTO 8000
7590 F3 = 0: F4 = 0: H3 = 0: H4 = 0: L3 = 0: K3 = 0: K4 = 0: K5 = 0
7595 FOR J = 1 TO X: F(J) = 0: H(J) = O: L(J) = 0: K(J) = 0: Z(J) = 0: NEXT J: X = 0
7600 PRINT "F(1)=F3+F4:H1=H3+H4;L(1)=L3+L4"
7610 PRINT "K(1)=K3+K4"
7611 PRINT #1, "F(1)=F3+F4:H1=H3+H4;L(1)=L3+L4"
7612 PRINT #1, "K(1)=K3+K4"
7620 PRINT "F4,H4,L4,K4 - ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 1, 2, 3, 4-ГО ФАКТОРОВ"
7630 PRINT "ВВОД ПРИНЯТЫХ ВЕЛИЧИН X,F3,F4,H3,H4,";
7640 PRINT "L3,L4,K3,K4"
7650 INPUT X, F3, F4, H3, H4, L3, L4, K3, K4
7670 PRINT #1, "X="; X; "F3="; F3; "F4="; F4; "H3="; H3; "H4="; H4
7680 PRINT #1, "L3="; L3; "L4="; L4; "K3="; K3; "K4="; K4
7690 FOR K5 = 1 TO X: F(K5) = F3 + K5 * K4
7700 PRINT #1, "F("; K5; ")="; F(K5): H(K5) = H3 + K5 * H4
7710 PRINT #1, "H("; K5; ")="; H(K5): L(K5) = L3 + K5 * L4
7720 PRINT #1, "L("; K5; ")="; L(K5): K(K5) = K3 + K5 * K4
7730 PRINT #1, "K("; K5; ")="; K(K5): GOSUB 2490
7740 GOSUB 2500: GOSUB 2510: GOSUB 2520
7750 GOSUB 2600: GOTO 7760
7760 PRINT #1, "Z("; K5; ")="; Z(K5): NEXT K5: GOTO 8000
7770 F3 = 0: F4 = 0: H3 = 0: H4 = 0: L3 = 0: L4 = 0
7780 K3 = 0: K4 = 0: K5 = 0: M3 = 0: M4 = 0
7790 FOR J = 1 TO X: F(J) = 0: H(J) = 0: L(J) = 0
7800 K(J) = 0: M(J) = 0: Z(J) = 0: NEXT J: X = 0
7810 PRINT "F(1)=F3+F4;H(1)=H3+H4;L(1)=L3+L4"
7820 PRINT "K(1)=K3+K4;M(1)=M3+M4"
7830 PRINT "F4,H4,L4,K4,M4-ШАГ"
7840 PRINT "ПРИРАЩЕНИЯ 1, 2, 3, 4, 5-ГО ФАКТОРОВ"
7841 PRINT #1, "F(1)=F3+F4;H(1)=H3+H4;L(1)=L3+L4"
7842 PRINT #1, "K(1)=K3+K4;M(1)=M3+M4"
7843 PRINT #1, "F4,H4,L4,K4,M4-ШАГ"
7844 PRINT #1, "ПРИРАЩЕНИЯ 1 ,2 ,3 ,4 ,5-ГО ФАКТОРОВ"
7850 PRINT "ВВОД ПРИНЯТЫХ ВЕЛИЧИН X,F3,F4,H3,H4,"
7860 PRINT "L3,L4,K3,K4,M3,M4"
7870 INPUT X, F3, F4, H3, H4, L3, L4, K3, K4, M3, M4
7890 PRINT #1, "X="; X; "F3="; F3; "F4="; F4; "H3="; H3
7900 PRINT #1, "H4="; H4; "L3="; L3; "L4="; L4
7910 PRINT #1, "K3="; K3; "K4="; K4; "M3="; M3; "M4="; M4
7920 FOR K5 = 1 TO X: F(K5) = F3 + K5 * K4
```

```
7930 PRINT #1, "F("; K5; ")="; F(K5): H(K5) = H3 + K5 * H4
7940 PRINT #1, "H("; K5; ")="; H(K5): L(K5) = L3 + K5 * L4
7950 PRINT #1, "L("; K5; ")="; L(K5): K(K5) = K3 + K5 * K4
7960 PRINT #1, "K("; K5; ")="; K(K5): M(K5) = M3 + K5 * M4
7970 PRINT #1, "M("; K5; ")="; M(K5): GOSUB 2490
7980 GOSUB 2500: GOSUB 2510: GOSUB 2520: GOSUB 2530
7990 GOSUB 2670: GOTO 7995
7995 PRINT #1, "Z("; K5; ")="; Z(K5): NEXT K5: GOTO 8000
8000 PRINT #1, "ВЫЯВЛЕНИЕ MAX Z(K5) И MIN Z(K5)": K8 = 0: K8 = Z(1)
8002 PRINT "ВВОД I0=90-ПРОДОЛЖЕНИЕ"
8004 INPUT I0
8010 FOR K5 = 1 TO X
8020 IF Z(K5) >= K8 THEN K8 = Z(K5)
8040 NEXT K5: PRINT #1, "MAX Z(K5)="; K8
8041 FOR K5 = 1 TO X
8042 IF Z(K5) = K8 THEN PRINT #1, "MAX Z("; K5; ")="; Z(K5)
8044 NEXT K5
8050 K7 = 0: K7 = Z(1)
8060 FOR K5 = 1 TO X
8070 IF Z(K5) <= K7 THEN K7 = Z(K5)
8090 NEXT K5: PRINT #1, "MIN Z(K5)="; K7
8091 FOR K5 = 1 TO X
8092 IF Z(K5) = K7 THEN PRINT #1, "MIN Z("; K5; ")="; Z(K5)
8093 NEXT K5: K6 = 0: PRINT #1, "MIN Z(K5)=K7,MAX Z(K5)=K8"
8094 PRINT #1, "K6(K5)=(Z(K5)+ABS(K7))/(ABS(K7)+ABS(K8))"
8095 FOR K5 = 1 TO X: K6(K5) = (Z(K5) + ABS(K7)) / (ABS(K7) + ABS(K8))
8096 PRINT #1, "K6("; K5; ")="; K6(K5): NEXT K5
8097 PRINT #1, "J5=ABS(K7)/(ABS(K7)+ABS(K8))"
8098 J5 = 0: J5 = ABS(K7) / (ABS(K7) + ABS(K8)): PRINT #1, "J5="; J5
8110 PRINT "IF I0=70 GOTO 7000-ПОВТОРЕНИЕ "
8111 PRINT "                ВЫЧИСЛЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5) "
8114 PRINT "                И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
8115 PRINT "IF I0=80 GOTO 9000-ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА"
8120 INPUT I0
8125 IF I0 = 70 GOTO 7000
8130 IF I0 = 80 GOTO 9000
9000 K0 = 0: K3 = 0: K4 = 0: K4 = X: K7 = 0: K8 = 0: X0 = 0: Y0 = 0
9010 PRINT #1, "ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА"
9015 PRINT #1, "ЗАВИСИМОСТЬ K6(K5) ОТ ФАКТОРА"
9020 PRINT #1, "K6(K5)-ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ПОКАЗАТЕЛЯ"
9025 PRINT "K5-НОМЕР ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРА И ПОКАЗАТЕЛЯ"
9030 PRINT "ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРОВ ЗАДАНЫ "
9035 PRINT "ВВОД:X0-ОТСТУП ВПРАВО ПО ОСИ X (ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНО X0=20)"
9036 PRINT "     X0-ОТСТУП ВНИЗ ПО ОСИ Y (ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНО Y0=180)"
9037 PRINT "     K0-ДЛИНА ГРАФИКА ПО ОСИ X"
9038 PRINT "     K3-ВЫСОТА ГРАФИКА ПО ОСИ Y"
9039 PRINT "ВВОД X0,Y0,K0,K3"
9045 INPUT X0, Y0, K0, K3
9050 PRINT #1, "X0="; X0; "Y0="; Y0; "K0="; K0; "K3="; K3; ",ГДЕ"
9051 PRINT #1, "             X0-ОТСТУП ВПРАВО ПО ОСИ X "
9052 PRINT #1, "             Y0-ОТСТУП ВНИЗ ПО ОСИ  Y "
9053 PRINT #1, "             K0-ДЛИНА ГРАФИКА ПО ОСИ X"
9054 PRINT #1, "             K3-ВЫСОТА ГРАФИКА ПО ОСИ Y"
9055 KEY OFF: CLS
9056 COLOR 0, 0: SCREEN 2
9057 FOR K5 = 1 TO K4: K7(K5) = K5 * K0: K8(K5) = K3 * K6(K5)
9058 LINE (K7(K5) - X0, Y0)-(K7(K5) - X0, Y0 - K8(K5))
9059 NEXT K5
9060 J6 = 0: J6 = X - 1: J7 = 0: J8 = 0: J9 = 0: K7 = 0: K8 = 0
9061 FOR K5 = 1 TO J6: K7(K5) = K5 * K0: K8(K5) = K3 * K6(K5)
9062 J7(K5) = (K5 + 1) * K0: J8(K5) = K3 * K6(K5 + 1): J9 = K3 * J5
9063 LINE (K7(K5) - X0, Y0)-(J7(K5) - X0, Y0)
9064 LINE (K7(K5) - X0, Y0 - J9)-(J7(K5) - X0, Y0 - J9)
```

```
9065 LINE (K7(K5) - X0, Y0 - K8(K5))-(J7(K5) - X0, Y0 - J8(K5))
9066 NEXT K5
9071 A$ = ""
9072 A$ = INKEY$: IF A$ = "" THEN 9072
9073 SCREEN 0: CLS : COLOR 2, 0
9074 PRINT "ВВОД I0=75 GOTO 9000-ПОВТОРЕНИЕ ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИКА"
9075 PRINT "ВВОД I0=85 GOTO 7000-ПОВТОРЕНИЕ"
9076 PRINT "          ВЫЧИСЛЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
9078 PRINT "          С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ "
9079 PRINT "          И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
9080 PRINT "ВВОД I0=95 GOTO 6830-КОНЕЦ": PRINT
9081 INPUT I0
9082 IF I0 = 75 GOTO 9000
9090 IF I0 = 85 GOTO 7000
9095 IF I0 = 95 GOTO 6830
```

ПРОГРАММА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ VN0 ДЛЯ СЛУЧАЕВ ПЛАНИРОВАНИЯ 3^1 (X = 3), 4^1 (X = 4), 5^1 (X = 5), 3^2 (X = 9), $3 \cdot 4$ (X = 12), $3 \cdot 5$ (X = 15), 4^2 (X = 16), $4 \cdot 5$ (X = 20), 5^2 (X = 25), 3^3 (X = 27)

```
5 PRINT "ПРОГРАММА VN0,РАЗРАБОТКА А.А.ЧЕРНОГО"
6 CLS
7 PRINT "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ VN0"
8 PRINT "ЗАНОСЯТСЯ В ФАЙЛ,ИМЯ КОТОРОГО НАДО ВВЕСТИ,"
9 PRINT "НАПРИМЕР, ВВЕСТИ ИМЯ ФАЙЛА  VN01"
10 INPUT "ВВОД ИМЕНИ ФАЙЛА  ", FA$
14 OPEN "O", #1, FA$
17 PRINT "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ VN0 ЗАНОСЯТСЯ В ФАЙЛ "; FA$
40 PRINT " РАЗРАБОТКИ ДЛЯ X=3,X=4,X=5,X=9,X=12,X=15,X=16,X=20,X=25,X=27"
41 PRINT #1, "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ VN0, РАЗРАБОТАННОЙ А.А. ЧЕРНЫМ"
42 DIM F(50), H(50), L(50), Y(27), I(50), K(50), M(50), P(50)
44 DIM Q(50), U(50), V(50), O(27), B(27), Z(50), G(20), T(27)
46 DIM K6(50), K7(50), K8(50), J7(50), J8(50), J9(50)
51 PRINT "ВВОД X-КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ "
52 PRINT #1, "КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ "
60 INPUT X: PRINT #1, "X="; X
61 PRINT #1, "ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕПЕНИ"
62 PRINT "ВВОД ВЕЛИЧИН ФАКТОРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕПЕНИ"
65 IF X = 4 GOTO 200
70 IF X = 16 GOTO 200
80 IF X = 20 GOTO 200
90 IF X = 5 GOTO 270
100 IF X = 25 GOTO 270
120 PRINT "ВВОД A1,E1,B1,J1,O1": INPUT A1, E1, B1, J1, O1
130 PRINT #1, "A1="; A1; " E1="; E1; " B1="; B1
133 PRINT #1, "J1="; J1; " O1="; O1: A = A1: B = B1: E = E1: N = J1: R = O1
140 GOSUB 3660: V1 = V0: U1 = U0: Q1 = Q0
144 PRINT #1, "V1="; V1; " U1="; U1; " Q1="; Q1
150 IF X = 9 GOTO 350
160 IF X = 27 GOTO 350
170 IF X = 12 GOTO 400
180 IF X = 15 GOTO 460
190 IF X = 3 GOTO 590
200 PRINT "ВВОД A1,C1,D1,B1,J1,O1,P1"
210 INPUT A1, C1, D1, B1, J1, O1, P1
213 PRINT #1, "A1="; A1; " C1="; C1; " D1="; D1
215 PRINT #1, " B1="; B1; " J1="; J1; " O1="; O1; " P1="; P1
220 A = A1: B = B1: C = C1: D = D1: N = J1: R = O1: S = P1: GOSUB 3710
```

```
230 V1 = V0: U1 = U0: Q1 = Q0: I1 = I0: M1 = M0: F1 = F0
240 PRINT #1, "V1="; V1; " U1="; U1; " Q1="; Q1
243 PRINT #1, " I1="; I1; " M1="; M1; " F1="; F1
245 IF X = 16 GOTO 400
250 IF X = 20 GOTO 460
260 IF X = 4 GOTO 600
270 PRINT "ВВОД A1,C1,E1,D1,B1,J1,O1,P1,T1"
280 INPUT A1, C1, E1, D1, B1, J1, O1, P1, T1
290 PRINT #1, "A1="; A1; " C1="; C1; " E1="; E1
293 PRINT #1, "D1="; D1; " B1="; B1; " J1="; J1
295 PRINT #1, "O1="; O1; " P1="; P1; " T1="; T1: A = A1: B = B1
300 C = C1: D = D1: E = E1: N = J1: R = O1: S = P1: W = T1: GOSUB 3860
310 V1 = V0: U1 = U0: Q1 = Q0: I1 = I0: M1 = M0: F1 = F0: G1 = G0: H1 = H0
320 K1 = K0: L1 = L0: PRINT #1, "V1="; V1; " U1="; U1; " Q1="; Q1
323 PRINT #1, "I1="; I1; " M1="; M1; " F1="; F1; " G1="; G1
325 PRINT #1, "H1="; H1; " K1="; K1; " L1="; L1
330 IF X = 25 GOTO 460
340 IF X = 5 GOTO 610
350 PRINT "ВВОД A2,E2,B2,J2,O2": INPUT A2, E2, B2, J2, O2
360 PRINT #1, "A2="; A2; " E2="; E2; " B2="; B2
363 PRINT #1, "J2="; J2; " O2="; O2
365 A = A2: B = B2: E = E2: N = J2: R = O2
370 GOSUB 3660: V2 = V0: U2 = U0: Q2 = Q0
375 PRINT #1, "V2="; V2; " U2="; U2; " Q2="; Q2
380 IF X = 27 GOTO 550
390 IF X = 9 GOTO 620
400 PRINT "ВВОД A2,C2,D2,B2,J2,O2,P2"
410 INPUT A2, C2, D2, B2, J2, O2, P2: PRINT #1, "A2="; A2
413 PRINT #1, "C2="; C2; " D2="; D2; " B2="; B2; " J2="; J2
415 PRINT #1, "O2="; O2; "P2="; P2
420 A = A2: B = B2: C = C2: D = D2: N = J2: R = O2: S = P2: GOSUB 3710
430 V2 = V0: U2 = U0: Q2 = Q0: I2 = I0: M2 = M0: F2 = F0
440 PRINT #1, "V2="; V2; " U2="; U2; " Q2="; Q2; " I2="; I2
443 PRINT #1, "M2="; M2; " F2="; F2
445 IF X = 12 GOTO 660
450 IF X = 16 GOTO 770
460 PRINT "ВВОД A2,C2,E2,D2,B2,J2,O2,P2,T2"
470 INPUT A2, C2, E2, D2, B2, J2, O2, P2, T2
480 PRINT #1, "A2="; A2; " C2="; C2; " E2="; E2; " D2="; D2
483 PRINT #1, "B2="; B2; " J2="; J2; " O2="; O2
485 PRINT #1, "P2="; P2; " T2="; T2: A = A2: B = B2
490 C = C2: D = D2: E = E2: N = J2: R = O2: S = P2: W = T2: GOSUB 3860
500 V2 = V0: U2 = U0: Q2 = Q0: I2 = I0: M2 = M0: F2 = F0: G2 = G0: H2 = H0
510 K2 = K0: L2 = L0: PRINT #1, "V2="; V2; "U2="; U2; "Q2="; Q2
513 PRINT #1, "I2="; I2; " M2="; M2; " F2="; F2; " G2="; G2
515 PRINT #1, "H2="; H2; " K2="; K2; " L2="; L2
520 IF X = 15 GOTO 710
530 IF X = 20 GOTO 830
540 IF X = 25 GOTO 900
550 PRINT "ВВОД A3,E3,B3,J3,O3"
555 INPUT A3, E3, B3, J3, O3
560 PRINT #1, "A3="; A3; " E3="; E3; " B3="; B3
563 PRINT #1, "J3="; J3; " O3="; O3
565 A = A3: B = B3: E = E3: N = J3: R = O3
570 GOSUB 3660: V3 = V0: U3 = U0: Q3 = Q0
575 PRINT #1, "V3="; V3; " U3="; U3; " Q3="; Q3
580 GOTO 990
589 REM ПЛАНЫ
590 F(1) = A1: F(2) = B1: F(3) = E1: GOTO 1130
600 F(1) = A1: F(2) = B1: F(3) = C1: F(4) = D1: GOTO 1130
610 F(1) = A1: F(2) = B1: F(3) = C1: F(4) = D1: F(5) = E1: GOTO 1130
620 F(1) = A1: H(1) = A2: F(2) = B1: H(2) = A2: F(3) = A1: H(3) = B2
630 F(4) = B1: H(4) = B2: F(5) = A1: H(5) = E2: F(6) = B1: H(6) = E2
```

```
640 F(7) = E1: H(7) = A2: F(8) = E1: H(8) = B2: F(9) = E1: H(9) = E2
650 GOTO 1130
660 F(1) = A1: H(1) = A2: F(2) = B1: H(2) = A2: F(3) = A1: H(3) = B2
670 F(4) = B1: H(4) = B2: F(5) = E1: H(5) = A2: F(6) = E1: H(6) = B2
680 F(7) = A1: H(7) = C2: F(8) = B1: H(8) = D2: F(9) = A1: H(9) = D2
690 F(10) = B1: H(10) = C2: F(11) = E1: H(11) = C2: F(12) = E1
695 H(12) = D2
700 GOTO 1130
710 F(1) = A1: H(1) = A2: F(2) = B1: H(2) = A2: F(3) = A1: H(3) = B2
720 F(4) = B1: H(4) = B2: F(5) = A1: H(5) = E2: F(6) = B1: H(6) = E2
730 F(7) = E1: H(7) = A2: F(8) = E1: H(8) = B2: F(9) = E1: H(9) = E2
740 F(10) = A1: H(10) = C2: F(11) = B1: H(11) = D2: F(12) = A1
745 H(12) = D2
750 F(13) = B1: H(13) = C2: F(14) = E1: H(14) = C2: F(15) = E1
755 H(15) = D2
760 GOTO 1130
770 F(1) = A1: H(1) = A2: F(2) = B1: H(2) = A2: F(3) = A1: H(3) = B2
780 F(4) = B1: H(4) = B2: F(5) = A1: H(5) = C2: F(6) = B1: H(6) = C2
790 F(7) = A1: H(7) = D2: F(8) = B1: H(8) = D2: F(9) = C1: H(9) = A2
800 F(10) = C1: H(10) = C2: F(11) = C1: H(11) = D2: F(12) = C1
805 H(12) = B2
810 F(13) = D1: H(13) = A2: F(14) = D1: H(14) = C2: F(15) = D1
815 H(15) = D2
820 F(16) = D1: H(16) = B2: GOTO 1130
830 F(1) = A1: H(1) = A2: F(2) = B1: H(2) = A2: F(3) = A1: H(3) = B2
840 F(4) = B1: H(4) = B2: F(5) = A1: H(5) = E2: F(6) = B1: H(6) = E2
850 F(7) = A1: H(7) = C2: F(8) = B1: H(8) = D2: F(9) = A1: H(9) = D2
860 F(10) = B1: H(10) = C2: F(11) = C1: H(11) = A2: F(12) = C1: H(12) = C2
870 F(13) = C1: H(13) = E2: F(14) = C1: H(14) = D2: F(15) = C1: H(15) = B2
880 F(16) = D1: H(16) = A2: F(17) = D1: H(17) = C2: F(18) = D1: H(18) = E2
890 F(19) = D1: H(19) = D2: F(20) = D1: H(20) = B2: GOTO 1130
900 F(1) = A1: H(1) = A2: F(2) = B1: H(2) = A2: F(3) = A1: H(3) = B2
910 F(4) = B1: H(4) = B2: F(5) = A1: H(5) = E2: F(6) = B1: H(6) = E2
920 F(7) = E1: H(7) = A2: F(8) = E1: H(8) = B2: F(9) = E1: H(9) = E2
930 F(10) = A1: H(10) = C2: F(11) = B1: H(11) = D2: F(12) = A1: H(12) = D2
940 F(13) = B1: H(13) = C2: F(14) = E1: H(14) = C2: F(15) = E1: H(15) = D2
950 F(16) = C1: H(16) = A2: F(17) = C1: H(17) = C2: F(18) = C1: H(18) = E2
960 F(19) = C1: H(19) = D2: F(20) = C1: H(20) = B2: F(21) = D1: H(21) = A2
970 F(22) = D1: H(22) = C2: F(23) = D1: H(23) = E2: F(24) = D1: H(24) = D2
980 F(25) = D1: H(25) = B2: GOTO 1130
990 F(1) = A1: H(1) = A2: L(1) = A3: F(2) = B1: H(2) = A2: L(2) = A3
1000 F(3) = A1: H(3) = B2: L(3) = A3: F(4) = B1: H(4) = B2: L(4) = A3
1010 F(5) = A1: H(5) = A2: L(5) = B3: F(6) = B1: H(6) = A2: L(6) = B3
1020 F(7) = A1: H(7) = B2: L(7) = B3: F(8) = B1: H(8) = B2: L(8) = B3
1030 F(9) = A1: H(9) = E2: L(9) = E3: F(10) = B1: H(10) = E2: L(10) = E3
1040 F(11) = E1: H(11) = A2: L(11) = E3: F(12) = E1: H(12) = B2: L(12) = E3
1050 F(13) = E1: H(13) = E2: L(13) = A3: F(14) = E1: H(14) = E2: L(14) = B3
1060 F(15) = A1: H(15) = A2: L(15) = E3: F(16) = B1: H(16) = A2: L(16) = E3
1070 F(17) = A1: H(17) = B2: L(17) = E3: F(18) = B1: H(18) = B2: L(18) = E3
1080 F(19) = A1: H(19) = E2: L(19) = A3: F(20) = B1: H(20) = E2: L(20) = A3
1090 F(21) = A1: H(21) = E2: L(21) = B3: F(22) = B1: H(22) = E2: L(22) = B3
1100 F(23) = E1: H(23) = A2: L(23) = A3: F(24) = E1: H(24) = B2: L(24) = A3
1110 F(25) = E1: H(25) = A2: L(25) = B3: F(26) = E1: H(26) = B2: L(26) = B3
1120 F(27) = E1: H(27) = E2: L(27) = E3
1130 PRINT "IF I0=6 GOTO 40-НАЧАЛО"
1135 PRINT "IF I0=7 GOTO 1160-ПРОДОЛЖЕНИЕ"
1140 INPUT I0: IF I0 = 6 GOTO 40
1150 IF I0 = 7 GOTO 1160
1160 PRINT "ВВОД ВЕЛИЧИН ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО ПЛАНУ Y(J) "
1161 PRINT #1, "ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СООТВЕТСТВИИ С ПЛАНОМ Y(J)"
1165 FOR J = 1 TO X
1166 PRINT "Y("; J; ")": INPUT Y(J)
1170 PRINT #1, "Y("; J; ")="; Y(J): NEXT J
```

```
1180 PRINT "IF I0=1 GOTO 1160-ПОВТОРЕНИЕ ВВОДА ПОКАЗАТЕЛЕЙ"
1185 PRINT "IF I0=2 GOTO 1210-ПРОДОЛЖЕНИЕ"
1190 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0: IF I0 = 1 GOTO 1160
1200 IF I0 = 2 GOTO 1210
1210 IF X = 3 GOTO 1310
1220 IF X = 4 GOTO 1320
1230 IF X = 5 GOTO 1330
1240 IF X = 9 GOTO 1340
1250 IF X = 12 GOTO 1350
1260 IF X = 15 GOTO 1360
1270 IF X = 16 GOTO 1370
1280 IF X = 20 GOTO 1380
1290 IF X = 25 GOTO 1390
1300 IF X = 27 GOTO 1400
1310 GOSUB 4150: GOTO 1410
1320 GOSUB 4210: GOTO 1410
1330 GOSUB 4290: GOTO 1410
1340 GOSUB 4150: GOSUB 4170: GOTO 1410
1350 GOSUB 4150: GOSUB 4250: GOTO 1410
1360 GOSUB 4150: GOSUB 4340: GOTO 1410
1370 GOSUB 4210: GOSUB 4250: GOTO 1410
1380 GOSUB 4210: GOSUB 4340: GOTO 1410
1390 GOSUB 4290: GOSUB 4340: GOTO 1410
1400 GOSUB 4150: GOSUB 4170: GOSUB 4190: GOTO 1410
1410 S = 0: O(1) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + Y(J): O(1) = O(1) + 1: NEXT J
1420 B(1) = S / O(1): S = 0: O(2) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * Y(J)
1430 O(2) = O(2) + I(J) ^ 2: NEXT J: B(2) = S / O(2): S = 0: O(3) = 0
1440 FOR J = 1 TO X: S = S + K(J) * Y(J): O(3) = O(3) + K(J) ^ 2: NEXT J
1450 B(3) = S / O(3): IF X = 3 GOTO 2390
1460 IF X = 4 GOTO 2000
1470 IF X = 5 GOTO 2000
1480 S = 0: O(4) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * Y(J)
1490 O(4) = O(4) + P(J) ^ 2: NEXT J: B(4) = S / O(4): S = 0: O(5) = 0
1500 FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * P(J) * Y(J): O(5) = O(5) + (I(J) * P(J)) ^ 2
1510 NEXT J: B(5) = S / O(5): S = 0: O(6) = 0: FOR J = 1 TO X
1520 S = S + Q(J) * Y(J): O(6) = O(6) + Q(J) ^ 2: NEXT J: B(6) = S / O(6)
1530 S = 0: O(7) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * Q(J) * Y(J)
1540 O(7) = O(7) + (I(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(7) = S / O(7): S = 0
1550 O(8) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * K(J) * Y(J)
1560 O(8) = O(8) + (P(J) * K(J)) ^ 2: NEXT J: B(8) = S / O(8): S = 0: O(9) = 0
1570 FOR J = 1 TO X: S = S + K(J) * Q(J) * Y(J): O(9) = O(9) + (K(J) * Q(J)) ^ 2
1580 NEXT J: B(9) = S / O(9): IF X = 9 GOTO 2390
1590 IF X = 27 GOTO 2040
1600 S = 0: O(10) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * Y(J): O(10) = O(10) + U(J) ^ 2
1610 NEXT J: B(10) = S / O(10): S = 0: O(11) = 0: FOR J = 1 TO X
1620 S = S + I(J) * U(J) * Y(J): O(11) = O(11) + (I(J) * U(J)) ^ 2: NEXT J
1630 B(11) = S / O(11): S = 0: O(12) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + K(J) * U(J) * Y(J)
1640 O(12) = O(12) + (K(J) * U(J)) ^ 2: NEXT J: B(12) = S / O(12)
1650 IF X = 12 GOTO 2390
1660 IF X = 16 GOTO 1930
1670 S = 0: O(13) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + V(J) * Y(J)
1680 O(13) = O(13) + V(J) ^ 2: NEXT J: B(13) = S / O(13): S = 0: O(14) = 0
1690 FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * V(J) * Y(J): O(14) = O(14) + (I(J) * V(J)) ^ 2
1700 NEXT J: B(14) = S / O(14): S = 0: O(15) = 0: FOR J = 1 TO X
1710 S = S + K(J) * V(J) * Y(J): O(15) = O(15) + (K(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J
1720 B(15) = S / O(15): IF X = 15 GOTO 2390
1730 S = 0: O(16) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + L(J) * Y(J): O(16) = O(16) + L(J) ^ 2
1740 NEXT J: B(16) = S / O(16): S = 0: O(17) = 0: FOR J = 1 TO X
1750 S = S + P(J) * L(J) * Y(J): O(17) = O(17) + (P(J) * L(J)) ^ 2: NEXT J
1760 B(17) = S / O(17): S = 0: O(18) = 0: FOR J = 1 TO X
1770 S = S + Q(J) * L(J) * Y(J): O(18) = O(18) + (Q(J) * L(J)) ^ 2: NEXT J
1780 B(18) = S / O(18): S = 0: O(19) = 0: FOR J = 1 TO X
1790 S = S + L(J) * U(J) * Y(J): O(19) = O(19) + (L(J) * U(J)) ^ 2: NEXT J
```

```
1800 B(19) = S / O(19): S = 0: O(20) = 0: FOR J = 1 TO X
1810 S = S + L(J) * V(J) * Y(J): O(20) = O(20) + (L(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J
1820 B(20) = S / O(20): IF X = 20 GOTO 2390
1830 S = 0: O(21) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + M(J) * Y(J)
1840 O(21) = O(21) + M(J) ^ 2: NEXT J: B(21) = S / O(21): S = 0: O(22) = 0
1850 FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * M(J) * Y(J): O(22) = O(22) + (P(J) * M(J)) ^ 2
1860 NEXT J: B(22) = S / O(22): S = 0: O(23) = 0: FOR J = 1 TO X
1870 S = S + Q(J) * M(J) * Y(J): O(23) = O(23) + (Q(J) * M(J)) ^ 2: NEXT J
1880 B(23) = S / O(23): S = 0: O(24) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * M(J) * Y(J)
1890 O(24) = O(24) + (U(J) * M(J)) ^ 2: NEXT J: B(24) = S / O(24): S = 0
1900 O(25) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + M(J) * V(J) * Y(J)
1910 O(25) = O(25) + (M(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(25) = S / O(25)
1920 IF X = 25 GOTO 2390
1930 S = 0: O(13) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + L(J) * Y(J): O(13) = O(13) + L(J) ^ 2
1940 NEXT J: B(13) = S / O(13): S = 0: O(14) = 0: FOR J = 1 TO X
1950 S = S + P(J) * L(J) * Y(J): O(14) = O(14) + (P(J) * L(J)) ^ 2: NEXT J
1960 B(14) = S / O(14): S = 0: O(15) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + Q(J) * L(J) * Y(J)
1970 O(15) = O(15) + (Q(J) * L(J)) ^ 2: NEXT J: B(15) = S / O(15): S = 0
1980 O(16) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + L(J) * U(J) * Y(J)
1990 O(16) = O(16) + (L(J) * U(J)) ^ 2: NEXT J: B(16) = S / O(16): GOTO 2390
2000 S = 0: O(4) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + L(J) * Y(J): O(4) = O(4) + L(J) ^ 2
2010 NEXT J: B(4) = S / O(4): IF X = 4 GOTO 2390
2020 S = 0: O(5) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + M(J) * Y(J)
2030 O(5) = O(5) + M(J) ^ 2: NEXT J: B(5) = S / O(5): GOTO 2390
2040 S = 0: O(10) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * Y(J)
2050 O(10) = O(10) + U(J) ^ 2: NEXT J: B(10) = S / O(10): S = 0: O(11) = 0
2060 FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * U(J) * Y(J): O(11) = O(11) + (I(J) * U(J)) ^ 2
2070 NEXT J: B(11) = S / O(11): S = 0: O(12) = 0: FOR J = 1 TO X
2080 S = S + P(J) * U(J) * Y(J): O(12) = O(12) + (P(J) * U(J)) ^ 2: NEXT J
2090 B(12) = S / O(12): S = 0: O(13) = 0: FOR J = 1 TO X
2100 S = S + I(J) * P(J) * U(J) * Y(J): O(13) = O(13) + (I(J) * P(J) * U(J)) ^ 2
2110 NEXT J: B(13) = S / O(13): S = 0: O(14) = 0: FOR J = 1 TO X
2120 S = S + V(J) * Y(J): O(14) = O(14) + V(J) ^ 2: NEXT J: B(14) = S / O(14)
2130 S = 0: O(15) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * V(J) * Y(J)
2140 O(15) = O(15) + (I(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(15) = S / O(15): S = 0
2150 O(16) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * V(J) * Y(J)
2160 O(16) = O(16) + (P(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(16) = S / O(16): S = 0
2170 O(17) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * K(J) * Y(J)
2180 O(17) = O(17) + (U(J) * K(J)) ^ 2: NEXT J: B(17) = S / O(17): S = 0
2190 O(18) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * Q(J) * Y(J)
2200 O(18) = O(18) + (U(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(18) = S / O(18): S = 0
2210 O(19) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * P(J) * V(J) * Y(J)
2220 O(19) = O(19) + (I(J) * P(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(19) = S / O(19)
2230 S = 0: O(20) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * U(J) * Q(J) * Y(J)
2240 O(20) = O(20) + (I(J) * U(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(20) = S / O(20)
2250 S = 0: O(21) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * U(J) * K(J) * Y(J)
2260 O(21) = O(21) + (P(J) * U(J) * K(J)) ^ 2: NEXT J: B(21) = S / O(21)
2270 S = 0: O(22) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + K(J) * V(J) * Y(J)
2280 O(22) = O(22) + (K(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(22) = S / O(22)
2290 S = 0: O(23) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + Q(J) * V(J) * Y(J)
2300 O(23) = O(23) + (Q(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(23) = S / O(23)
2310 S = 0: O(24) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * Q(J) * V(J) * Y(J)
2320 O(24) = O(24) + (I(J) * Q(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(24) = S / O(24)
2330 S = 0: O(25) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * K(J) * V(J) * Y(J)
2340 O(25) = O(25) + (P(J) * K(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(25) = S / O(25)
2350 S = 0: O(26) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * K(J) * Q(J) * Y(J)
2360 O(26) = O(26) + (U(J) * K(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(26) = S / O(26)
2370 S = 0: O(27) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + K(J) * Q(J) * V(J) * Y(J)
2380 O(27) = O(27) + (K(J) * Q(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(27) = S / O(27): GOTO 2390
2390 PRINT #1, "B(J) ДО АНАЛИЗА": FOR J = 1 TO X
2395 PRINT #1, "B("; J; ")="; B(J)
2397 NEXT J: GOTO 2400
2400 PRINT "ВВОД N0-КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ"
```

```
2407 INPUT N0
2408 PRINT #1, "КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ"
2410 PRINT #1, "N0="; N0
2415 IF X = 3 GOTO 2510
2420 IF X = 4 GOTO 2520
2430 IF X = 5 GOTO 2530
2440 IF X = 9 GOTO 2540
2450 IF X = 12 GOTO 2550
2460 IF X = 15 GOTO 2560
2470 IF X = 16 GOTO 2570
2480 IF X = 20 GOTO 2580
2490 IF X = 25 GOTO 2590
2500 IF X = 27 GOTO 2600
2510 GOSUB 4390: GOTO 2610
2520 GOSUB 4400: GOTO 2610
2530 GOSUB 4420: GOTO 2610
2540 GOSUB 4450: GOTO 2610
2550 GOSUB 4490: GOTO 2610
2560 GOSUB 4530: GOTO 2610
2570 GOSUB 4580: GOTO 2610
2580 GOSUB 4630: GOTO 2610
2590 GOSUB 4690: GOTO 2610
2600 GOSUB 4770: GOTO 2610
2610 PRINT #1, "РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(J) ДО АНАЛИЗА B(J)"
2620 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Z("; J; ")="; Z(J): NEXT J
2630 PRINT "ВВОД F8=N0-1": INPUT F8
2633 PRINT #1, "F8=N0-1="; F8
2635 PRINT "F8="; F8
2640 PRINT #1, "ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ Y(J)-Z(J)"
2641 PRINT #1, "В ПРОЦЕНТАХ (Y(J)-Z(J)) * (100/Y(J))"
2650 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Y("; J; ")-Z("; J; ")="; Y(J) - Z(J)
2651 PRINT #1, "(Y("; J; ")-Z("; J; ")) * (100 / Y("; J; ")) = "; (Y(J) - Z(J)) * (100 / Y(J))
2655 NEXT J
2660 PRINT "IF I0=3 GOTO 2720-ВВОД РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ "
2663 PRINT "                НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ"
2666 PRINT "IF I0=4 GOTO 2770-ВВОД ДИСПЕРСИИ ОПЫТОВ"
2670 PRINT "IF I0=5 GOTO 3240-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И "
2672 PRINT "                РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
2773 PRINT "IF I0=6 GOTO    40-НАЧАЛО"
2677 PRINT "IF I0=20 GOTO 6830-КОНЕЦ"
2678 PRINT "IF I0=25 GOTO 4880-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ"
2679 PRINT "IF I0=27 GOTO 7000-ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
2681 PRINT "                С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ И "
2684 PRINT "                ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
2689 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0: IF I0 = 3 GOTO 2720
2690 IF I0 = 4 GOTO 2770
2700 IF I0 = 5 GOTO 3240
2710 IF I0 = 6 GOTO 40
2715 IF I0 = 20 GOTO 6830
2717 IF I0 = 25 GOTO 4880
2718 IF I0 = 27 GOTO 7000
2720 PRINT "ВВОД G(J)-РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ ";
2721 PRINT "НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ "
2722 PRINT #1, "РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ ";
2723 PRINT #1, "НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ "
2724 FOR J = 1 TO N0: PRINT "G("; J; ")": INPUT G(J)
2730 PRINT #1, "G("; J; ")="; G(J): NEXT J: S = 0: FOR J = 1 TO N0: S = S + G(J)
2740 NEXT J: S0 = S / N0: PRINT "S0="; S0: S = 0: FOR J = 1 TO N0
2750 S = S + (G(J) - S0) ^ 2: NEXT J: U9 = S / F8
2751 PRINT #1, "ДИСПЕРСИЯ ОПЫТОВ U9="; U9
2760 GOTO 2780
2770 PRINT "ВВОД U9-ДИСПЕРСИЯ ОПЫТОВ": INPUT U9
2771 PRINT #1, "ДИСПЕРСИЯ ОПЫТОВ U9="; U9
```

```
2780 PRINT #1, "РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ T(J)": FOR J = 1 TO X
2790 T(J) = ABS(B(J) / SQR(U9 / O(J))): PRINT #1, "T("; J; ")="; T(J): NEXT J
2800 PRINT "                    ДЛЯ УРОВНЯ ЗНАЧИМОСТИ 5% "
2801 PRINT "          ПРИ F8    2   ;  3   ;    4 ;  5   ; 6"
2802 PRINT "СООТВЕТСТВЕННО T0  4.303 ;3.182 ;2.776 ;2.571 ;2.447"
2803 PRINT "F8=N0-1="; N0; "-1="; F8
2804 PRINT "ВВОД T0-ТАБЛИЧНЫЙ T-КРИТЕРИЙ"
2805 INPUT T0
2806 PRINT #1, "ТАБЛИЧНЫЙ T-КРИТЕРИЙ T0="; T0
2810 PRINT #1, "B(J) ПОСЛЕ АНАЛИЗА": FOR J = 1 TO X
2820 IF T(J) < T0 GOTO 2840
2830 IF T(J) >= T0 GOTO 2850
2840 B(J) = 0
2850 PRINT #1, "B("; J; ")="; B(J): NEXT J
2860 K9 = 0: FOR J = 1 TO X: IF B(J) = 0 GOTO 2871
2870 K9 = K9 + 1
2871 NEXT J
2872 PRINT #1, "КОЛИЧЕСТВО СТАТИСТИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ"
2873 PRINT #1, "          КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГРЕССИИ K9="; K9
2881 PRINT #1, "F9=X-1": F9 = X - 1
2882 PRINT #1, "F9="; F9: CLS
2883 PRINT "!  ! ЗНАЧЕНИЯ F-КРИТЕРИЯ F7 ДЛЯ 5%-ГО УРОВНЯ ЗНАЧИМОСТИ"
2884 PRINT "!  !-------------------------------------------------------"
2885 PRINT "!F8!                    F9                          "
2886 PRINT "!  !-------------------------------------------------------"
2887 PRINT "!  !   2   !  3    !  4    !    8   !   11   !   14    "
2888 PRINT "-------------------------------------------------------"
2889 PRINT "! 2! 19.0  ! 19.16 ! 19.25 ! 19.37  !  19.4  !  19.42  "
2890 PRINT "! 3!  9.55 !  9.28 !  9.12 !  8.84  !   8.76 !   8.71  "
2891 PRINT "! 4!  6.94 !  6.59 !  6.39 !  6.04  !   5.93 !   5.87  "
2892 PRINT "! 5!  5.79 !  5.41 !  5.19 !  4.82  !   4.7  !   4.64  "
2893 PRINT "! 6!  5.14 !  4.76 !  4.53 !  4.15  !   4.03 !   3.96  "
2894 PRINT "!========================================================"
2895 PRINT "! F8 \ F9 ! 15...16 ! 19...20 !   24     !  26...30   !"
2896 PRINT "!-------------------------------------------------------"
2897 PRINT "! 2  !        19.43 !   19.44 !   19.45  !    19.46   !"
2898 PRINT "! 3  !         8.69 !    8.66 !    8.64  !     8.62   !"
2899 PRINT "! 4  !         5.84 !    5.8  !    5.77  !     5.74   !"
2900 PRINT "! 5  !         4.6  !   4.56  !    4.53  !     4.5    !"
2901 PRINT "! 6  !         3.92 !    3.87 !    3.84  !     3.81   !"
2902 PRINT "-------------------------------------------------------"
2907 PRINT "F8="; F8; "F9="; F9
2908 PRINT "ВВОД F7-ТАБЛИЧНЫЙ F-КРИТЕРИЙ"
2909 INPUT F7: PRINT #1, "ТАБЛИЧНЫЙ F-КРИТЕРИЙ F7="; F7
2910 IF X = 3 GOTO 3010
2920 IF X = 4 GOTO 3020
2930 IF X = 5 GOTO 3030
2940 IF X = 9 GOTO 3040
2950 IF X = 12 GOTO 3050
2960 IF X = 15 GOTO 3060
2970 IF X = 16 GOTO 3070
2980 IF X = 20 GOTO 3080
2990 IF X = 25 GOTO 3090
3000 IF X = 27 GOTO 3100
3010 GOSUB 4390: GOTO 3110
3020 GOSUB 4400: GOTO 3110
3030 GOSUB 4420: GOTO 3110
3040 GOSUB 4450: GOTO 3110
3050 GOSUB 4490: GOTO 3110
3060 GOSUB 4530: GOTO 3110
3070 GOSUB 4580: GOTO 3110
3080 GOSUB 4630: GOTO 3110
3090 GOSUB 4690: GOTO 3110
```

```
3100 GOSUB 4770: GOTO 3110
3110 PRINT #1, "РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЯ";
3115 PRINT #1, " Z(J) ПОСЛЕ АНАЛИЗА B(J)"
3120 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Z("; J; ")="; Z(J): NEXT J
3121 PRINT #1, "ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ Y(J)-Z(J)"
3122 PRINT #1, "В ПРОЦЕНТАХ (Y(J)-Z(J)) * (100/Y(J))"
3123 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Y("; J; ")-Z("; J; ")="; Y(J) - Z(J)
3124 PRINT #1, "(Y("; J; ")-Z("; J; ")) * (100 / Y("; J; ")) = "; (Y(J) - Z(J)) * (100 / Y(J))
3125 NEXT J
3130 S = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + (Z(J) - Y(J)) ^ 2: NEXT J
3140 F6 = S / (F9 * U9)
3145 PRINT #1, "РАСЧЕТНАЯ ВЕЛИЧИНА F-КРИТЕРИЯ F6="; F6
3150 IF F6 <= F7 GOTO 3170
3160 IF F6 > F7 GOTO 3180
3170 PRINT #1, "АДЕКВАТНО,ТАК КАК F6<=F7": GOTO 3190
3180 PRINT #1, "НЕАДЕКВАТНО,ТАК КАК F6>F7"
3190 PRINT "IF I0=7 GOTO  3240-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И "
3193 PRINT "                РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
3194 PRINT "IF I0=8 GOTO    40-НАЧАЛО"
3197 PRINT "IF I0=17 GOTO 4880-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ"
3198 PRINT "IF I0=22 GOTO 7000-ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
3200 PRINT "                С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ И "
3203 PRINT "                ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
3207 PRINT "IF I0=9 GOTO  6830-КОНЕЦ": PRINT "ВВОД I0": INPUT I0
3210 IF I0 = 7 GOTO 3240
3220 IF I0 = 8 GOTO 40
3227 IF I0 = 17 GOTO 4880
3228 IF I0 = 22 GOTO 7000
3230 IF I0 = 9 GOTO 6830
3240 PRINT "ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
3241 PRINT "F(S),H(S),L(S)-1, 2, 3-й ФАКТОРЫ,"
3243 PRINT "ГДЕ S=X="; X; "-КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ"
3245 PRINT #1, "РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
3250 IF X = 3 GOTO 3350
3260 IF X = 4 GOTO 3350
3270 IF X = 5 GOTO 3350
3280 IF X = 9 GOTO 3420
3290 IF X = 12 GOTO 3420
3300 IF X = 15 GOTO 3420
3310 IF X = 16 GOTO 3420
3320 IF X = 20 GOTO 3420
3330 IF X = 25 GOTO 3420
3340 IF X = 27 GOTO 3560
3350 FOR S = 1 TO X: F(S) = 0: Z(S) = 0: PRINT "ВВОД F("; S; ")"
3360 INPUT F(S): PRINT #1, "ФАКТОР F("; S; ")="; F(S)
3365 IF X = 3 GOTO 3390
3370 IF X = 4 GOTO 3400
3380 IF X = 5 GOTO 3410
3390 GOSUB 4150: GOSUB 4390: GOTO 3412
3400 GOSUB 4210: GOSUB 4400: GOTO 3412
3410 GOSUB 4290: GOSUB 4420: GOTO 3412
3412 PRINT #1, "Z("; S; ")="; Z(S): NEXT S: GOTO 3610
3420 FOR S = 1 TO X: F(S) = 0: H(S) = 0: Z(S) = 0
3430 PRINT "ВВОД F("; S; "),H("; S; ")": INPUT F(S), H(S)
3432 PRINT #1, " ФАКТОРЫ F("; S; ")="; F(S); "H("; S; ")="; H(S)
3440 IF X = 9 GOTO 3500
3450 IF X = 12 GOTO 3510
3460 IF X = 15 GOTO 3520
3470 IF X = 16 GOTO 3530
3480 IF X = 20 GOTO 3540
3490 IF X = 25 GOTO 3550
3500 GOSUB 4150: GOSUB 4170: GOSUB 4450: GOTO 3552
3510 GOSUB 4150: GOSUB 4250: GOSUB 4490: GOTO 3552
```

```
3520 GOSUB 4150: GOSUB 4340: GOSUB 4530: GOTO 3552
3530 GOSUB 4210: GOSUB 4250: GOSUB 4580: GOTO 3552
3540 GOSUB 4210: GOSUB 4340: GOSUB 4630: GOTO 3552
3550 GOSUB 4290: GOSUB 4340: GOSUB 4690: GOTO 3552
3552 PRINT #1, "Z("; S; ")="; Z(S): NEXT S: GOTO 3610
3560 FOR S = 1 TO X: F(S) = 0: H(S) = 0: L(S) = 0: Z(S) = 0
3570 PRINT "ВВОД F("; S; "),H("; S; "),L("; S; ")"
3572 INPUT F(S), H(S), L(S): PRINT #1, "ФАКТОР F("; S; ")="; F(S)
3574 PRINT #1, "ФАКТОРЫ H("; S; ")="; H(S); "L("; S; ")="; L(S)
3580 GOSUB 4150: GOSUB 4170: GOSUB 4190: GOSUB 4770: GOTO 3590
3590 PRINT #1, "Z("; S; ")="; Z(S): NEXT S: GOTO 3610
3610 PRINT "IF I0=10 GOTO 3240-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И ";
3611 PRINT "РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
3612 PRINT "IF I0=11 GOTO 4880 - МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ"
3615 PRINT "IF I0=14 GOTO 7000-ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
3616 PRINT "                С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ И "
3617 PRINT "                 ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
3620 PRINT "IF I0=12 GOTO 6830-КОНЕЦ"
3625 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0
3630 IF I0 = 10 GOTO 3240
3640 IF I0 = 11 GOTO 4880
3650 IF I0 = 12 GOTO 6830
3653 IF I0 = 14 GOTO 7000
3660 N0 = (A ^ N + B ^ N + E ^ N) / 3: R0 = (A ^ R + B ^ R + E ^ R) / 3
3670 L2 = 2 * N: N3 = (A ^ L2 + B ^ L2 + E ^ L2) / 3: N4 = N + R
3680 N5 = (A ^ N4 + B ^ N4 + E ^ N4) / 3: V0 = -N0
3690 U0 = (N0 * R0 - N5) / (N3 - N0 ^ 2): Q0 = -(R0 + U0 * N0)
3700 PRINT #1, "КОЭФФИЦИЕНТЫ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ": RETURN
3710 N0 = (A ^ N + B ^ N + C ^ N + D ^ N) / 4
3720 R0 = (A ^ R + B ^ R + C ^ R + D ^ R) / 4
3730 S0 = (A ^ S + B ^ S + C ^ S + D ^ S) / 4: L2 = 2 * N
3740 N3 = (A ^ L2 + B ^ L2 + C ^ L2 + D ^ L2) / 4: K2 = 2 * R
3750 R3 = (A ^ K2 + B ^ K2 + C ^ K2 + D ^ K2) / 4: N4 = N + R
3760 N5 = (A ^ N4 + B ^ N4 + C ^ N4 + D ^ N4) / 4: N6 = N + S
3770 N7 = (A ^ N6 + B ^ N6 + C ^ N6 + D ^ N6) / 4: R4 = R + S
3780 R5 = (A ^ R4 + B ^ R4 + C ^ R4 + D ^ R4) / 4: V0 = -N0
3790 U0 = (N0 * R0 - N5) / (N3 - N0 ^ 2): Q0 = -(R0 + U0 * N0)
3800 P0 = (N0 * S0 - N7) / (N3 - N0 ^ 2): Z1 = R0 * S0 - R5 + P0 * (N0 * R0 - N5)
3810 Z2 = U0 * (N0 * S0 - N7) + U0 * P0 * (N0 ^ 2 - N3)
3820 Z3 = R3 - R0 ^ 2 + 2 * U0 * (N5 - N0 * R0)
3830 I0 = (Z1 + Z2) / (Z3 + (N3 - N0 ^ 2) * U0 ^ 2): M0 = I0 * U0 + P0
3840 F0 = -(S0 + I0 * R0 + M0 * N0)
3850 PRINT #1, "КОЭФФИЦИЕНТЫ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ": RETURN
3860 N0 = (A ^ N + B ^ N + C ^ N + D ^ N + E ^ N) / 5
3870 R0 = (A ^ R + B ^ R + C ^ R + D ^ R + E ^ R) / 5
3880 S0 = (A ^ S + B ^ S + C ^ S + D ^ S + E ^ S) / 5
3890 W0 = (A ^ W + B ^ W + C ^ W + D ^ W + E ^ W) / 5
3900 L2 = 2 * N: N3 = (A ^ L2 + B ^ L2 + C ^ L2 + D ^ L2 + E ^ L2) / 5
3910 K2 = 2 * R: R3 = (A ^ K2 + B ^ K2 + C ^ K2 + D ^ K2 + E ^ K2) / 5
3920 M2 = 2 * S: S3 = (A ^ M2 + B ^ M2 + C ^ M2 + D ^ M2 + E ^ M2) / 5
3930 N4 = N + R: N5 = (A ^ N4 + B ^ N4 + C ^ N4 + D ^ N4 + E ^ N4) / 5
3940 N6 = N + S: N7 = (A ^ N6 + B ^ N6 + C ^ N6 + D ^ N6 + E ^ N6) / 5
3950 N8 = N + W: N9 = (A ^ N8 + B ^ N8 + C ^ N8 + D ^ N8 + E ^ N8) / 5
3960 R4 = R + S: R5 = (A ^ R4 + B ^ R4 + C ^ R4 + D ^ R4 + E ^ R4) / 5
3970 R6 = R + W: R7 = (A ^ R6 + B ^ R6 + C ^ R6 + D ^ R6 + E ^ R6) / 5
3980 S4 = S + W: S5 = (A ^ S4 + B ^ S4 + C ^ S4 + D ^ S4 + E ^ S4) / 5
3990 V0 = -N0: U0 = (N0 * R0 - N5) / (N3 - N0 ^ 2): Q0 = -(R0 + U0 * N0)
4000 P0 = (N0 * S0 - N7) / (N3 - N0 ^ 2): Z1 = R0 * S0 - R5 + P0 * (N0 * R0 - N5)
4010 Z2 = U0 * (N0 * S0 - N7) + U0 * P0 * (N0 ^ 2 - N3)
4020 Z3 = R3 - R0 ^ 2 + 2 * U0 * (N5 - N0 * R0)
4030 I0 = (Z1 + Z2) / (Z3 + (N3 - N0 ^ 2) * U0 ^ 2): M0 = I0 * U0 + P0
4040 F0 = -(S0 + I0 * R0 + M0 * N0): Z4 = R0 + U0 * N0
4050 Z5 = Z4 * N0 - N5 - U0 * N3: Z6 = R3 + U0 * N5 - Z4 * R0 - Z5 * U0
```

```
4060 Z7 = Z4 * S0 + Z5 * P0 - R5 - U0 * N7: Z0 = (N0 * W0 - N9) / (N3 - N0 ^ 2)
4070 Z8 = Z5 * Z0 + Z4 * W0 - R7 - U0 * N9: Z9 = S3 + I0 * R5 + M0 * N7
4080 T7 = R5 + I0 * R3 + M0 * N5: T8 = N7 + I0 * N5 + M0 * N3
4090 T9 = S0 + I0 * R0 + M0 * N0: G3 = S5 + I0 * R7 + M0 * N9
4100 G4 = T9 * N0 - T8: G5 = Z9 - T9 * S0 - G4 * P0
4110 G6 = T9 * R0 - T7 + G4 * U0: G7 = G4 * Z0 + T9 * W0 - G3
4120 G0 = (Z6 * G7 + Z8 * G6) / (Z6 * G5 - Z7 * G6): H0 = (G0 * Z7 + Z8) / Z6
4130 K0 = G0 * P0 + H0 * U0 + Z0: L0 = -(W0 + G0 * S0 + H0 * R0 + K0 * N0)
4140 PRINT #1, "КОЭФФИЦИЕНТЫ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ": RETURN
4150 FOR J = 1 TO X: I(J) = F(J) ^ J1 + V1
4160 K(J) = F(J) ^ O1 + U1 * F(J) ^ J1 + Q1: NEXT J: RETURN
4170 FOR J = 1 TO X: P(J) = H(J) ^ J2 + V2
4180 Q(J) = H(J) ^ O2 + U2 * H(J) ^ J2 + Q2: NEXT J: RETURN
4190 FOR J = 1 TO X: U(J) = L(J) ^ J3 + V3
4200 V(J) = L(J) ^ O3 + U3 * L(J) ^ J3 + Q3: NEXT J: RETURN
4210 FOR J = 1 TO X: I(J) = F(J) ^ J1 + V1
4220 K(J) = F(J) ^ O1 + U1 * F(J) ^ J1 + Q1
4230 L(J) = F(J) ^ P1 + I1 * F(J) ^ O1 + M1 * F(J) ^ J1 + F1: NEXT J
4240 RETURN
4250 FOR J = 1 TO X: P(J) = H(J) ^ J2 + V2
4260 Q(J) = H(J) ^ O2 + U2 * H(J) ^ J2 + Q2
4270 U(J) = H(J) ^ P2 + I2 * H(J) ^ O2 + M2 * H(J) ^ J2 + F2: NEXT J
4280 RETURN
4290 FOR J = 1 TO X: I(J) = F(J) ^ J1 + V1
4300 K(J) = F(J) ^ O1 + U1 * F(J) ^ J1 + Q1
4310 L(J) = F(J) ^ P1 + I1 * F(J) ^ O1 + M1 * F(J) ^ J1 + F1
4320 M(J) = F(J) ^ T1 + G1 * F(J) ^ P1 + H1 * F(J) ^ O1 + K1 * F(J) ^ J1 + L1
4330 NEXT J: RETURN
4340 FOR J = 1 TO X: P(J) = H(J) ^ J2 + V2
4350 Q(J) = H(J) ^ O2 + U2 * H(J) ^ J2 + Q2
4360 U(J) = H(J) ^ P2 + I2 * H(J) ^ O2 + M2 * H(J) ^ J2 + F2
4370 V(J) = H(J) ^ T2 + G2 * H(J) ^ P2 + H2 * H(J) ^ O2 + K2 * H(J) ^ J2 + L2
4380 NEXT J: RETURN
4390 FOR J = 1 TO X: Z(J) = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J): NEXT J: RETURN
4400 FOR J = 1 TO X: Z(J) = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J) + B(4) * L(J)
4410 NEXT J: RETURN
4420 FOR J = 1 TO X
4430 Z(J) = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J) + B(4) * L(J) + B(5) * M(J)
4440 NEXT J: RETURN
4450 FOR J = 1 TO X: N3 = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J) + B(4) * P(J)
4460 N4 = B(5) * I(J) * P(J) + B(6) * Q(J) + B(7) * I(J) * Q(J)
4470 N5 = B(8) * P(J) * K(J) + B(9) * K(J) * Q(J)
4480 Z(J) = N3 + N4 + N5: NEXT J: RETURN
4490 FOR J = 1 TO X: N3 = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J) + B(4) * P(J)
4500 N4 = B(5) * I(J) * P(J) + B(6) * Q(J) + B(7) * I(J) * Q(J) + B(8) * P(J) * K(J)
4510 N5 = B(9) * K(J) * Q(J) + B(10) * U(J) + B(11) * I(J) * U(J)
4520 Z(J) = N3 + N4 + N5 + B(12) * K(J) * U(J): NEXT J: RETURN
4530 FOR J = 1 TO X: N3 = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J) + B(4) * P(J)
4540 N4 = B(5) * I(J) * P(J) + B(6) * Q(J) + B(7) * I(J) * Q(J) + B(8) * P(J) * K(J)
4550 N5 = B(9) * K(J) * Q(J) + B(10) * U(J) + B(11) * I(J) * U(J)
4560 N6 = B(12) * K(J) * U(J) + B(13) * V(J) + B(14) * I(J) * V(J)
4570 Z(J) = N3 + N4 + N5 + N6 + B(15) * K(J) * V(J): NEXT J: RETURN
4580 FOR J = 1 TO X: N3 = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J) + B(4) * P(J)
4590 N4 = B(5) * I(J) * P(J) + B(6) * Q(J) + B(7) * I(J) * Q(J) + B(8) * P(J) * K(J)
4600 N5 = B(9) * K(J) * Q(J) + B(10) * U(J) + B(11) * I(J) * U(J) + B(12) * K(J) * U(J)
4610 N6 = B(13) * L(J) + B(14) * P(J) * L(J) + B(15) * Q(J) * L(J)
4620 Z(J) = N3 + N4 + N5 + N6 + B(16) * L(J) * U(J): NEXT J: RETURN
4630 FOR J = 1 TO X: N3 = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J) + B(4) * P(J)
4640 N4 = B(5) * I(J) * P(J) + B(6) * Q(J) + B(7) * I(J) * Q(J) + B(8) * P(J) * K(J)
4650 N5 = B(9) * K(J) * Q(J) + B(10) * U(J) + B(11) * I(J) * U(J)
4660 N6 = B(12) * K(J) * U(J) + B(13) * V(J) + B(14) * I(J) * V(J) + B(15) * K(J) * V(J)
4670 N7 = B(16) * L(J) + B(17) * P(J) * L(J) + B(18) * Q(J) * L(J) + B(19) * L(J) * U(J)
4680 Z(J) = N3 + N4 + N5 + N6 + N7 + B(20) * L(J) * V(J): NEXT J: RETURN
```

```
4690 FOR J = 1 TO X: N3 = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J) + B(4) * P(J)
4700 N4 = B(5) * I(J) * P(J) + B(6) * Q(J) + B(7) * I(J) * Q(J) + B(8) * P(J) * K(J)
4710 N5 = B(9) * K(J) * Q(J) + B(10) * U(J) + B(11) * I(J) * U(J)
4720 N6 = B(12) * K(J) * U(J) + B(13) * V(J) + B(14) * I(J) * V(J) + B(15) * K(J) * V(J)
4730 N7 = B(16) * L(J) + B(17) * P(J) * L(J) + B(18) * Q(J) * L(J) + B(19) * L(J) * U(J)
4740 R3 = B(20) * L(J) * V(J) + B(21) * M(J) + B(22) * P(J) * M(J)
4750 R4 = B(23) * Q(J) * M(J) + B(24) * U(J) * M(J) + B(25) * M(J) * V(J)
4760 Z(J) = N3 + N4 + N5 + N6 + N7 + R3 + R4: NEXT J: RETURN
4770 FOR J = 1 TO X: N3 = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J) + B(4) * P(J)
4780 N4 = B(5) * I(J) * P(J) + B(6) * Q(J) + B(7) * I(J) * Q(J) + B(8) * P(J) * K(J)
4790 N5 = B(9) * K(J) * Q(J) + B(10) * U(J) + B(11) * I(J) * U(J) + B(12) * P(J) * U(J)
4800 N6 = B(13) * I(J) * P(J) * U(J) + B(14) * V(J) + B(15) * I(J) * V(J)
4810 N7 = B(16) * P(J) * V(J) + B(17) * U(J) * K(J) + B(18) * U(J) * Q(J)
4820 R0 = B(19) * I(J) * P(J) * V(J) + B(20) * I(J) * U(J) * Q(J)
4830 R4 = B(21) * P(J) * U(J) * K(J) + B(22) * K(J) * V(J) + B(23) * Q(J) * V(J)
4840 R5 = B(24) * I(J) * Q(J) * V(J) + B(25) * P(J) * K(J) * V(J)
4850 R6 = B(26) * U(J) * K(J) * Q(J) + B(27) * K(J) * Q(J) * V(J)
4860 Z(J) = N3 + N4 + N5 + N6 + N7 + R0 + R4 + R5 + R6: NEXT J: RETURN
4880 PRINT #1, "МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ": IF X = 3 GOTO 4910
4890 IF X = 9 GOTO 4930
4900 IF X = 27 GOTO 4980
4901 IF X = 4 GOTO 6070
4902 IF X = 5 GOTO 6100
4903 IF X = 12 GOTO 6130
4904 IF X = 15 GOTO 6200
4905 IF X = 16 GOTO 6280
4906 IF X = 20 GOTO 6370
4907 IF X = 25 GOTO 6480
4910 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*K(J),"
4920 IF X = 3 GOTO 5110
4930 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*K(J)+"
4940 PRINT #1, "+"; B(4); "*P(J)+"; B(5); "*I(J)*P(J)+"
4950 PRINT #1, "+"; B(6); "*Q(J)+"; B(7); "*I(J)*Q(J)+"
4960 PRINT #1, "+"; B(8); "*P(J)*K(J)+"; B(9); "*K(J)*Q(J),"
4970 IF X = 9 GOTO 5110
4980 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*K(J)+"
4990 PRINT #1, "+"; B(4); "*P(J)+"; B(5); "*I(J)*P(J)+"
5000 PRINT #1, "+"; B(6); "*Q(J)+"; B(7); "*I(J)*Q(J)+"
5010 PRINT #1, "+"; B(8); "*P(J)*K(J)+"; B(9); "*K(J)*Q(J)+"
5020 PRINT #1, "+"; B(10); "*U(J)+"; B(11); "*I(J)*U(J)+"
5030 PRINT #1, "+"; B(12); "*P(J)*U(J)+"; B(13); "*I(J)*P(J)*U(J)+"
5040 PRINT #1, "+"; B(14); "*V(J)+"; B(15); "*I(J)*V(J)+"
5050 PRINT #1, "+"; B(16); "*P(J)*V(J)+"; B(17); "*U(J)*K(J)+"
5060 PRINT #1, "+"; B(18); "*U(J)*Q(J)+"; B(19); "*I(J)*P(J)*V(J)+"
5070 PRINT #1, "+"; B(20); "*I(J)*U(J)*Q(J)+"; B(21); "*P(J)*U(J)*K(J)+"
5080 PRINT #1, "+"; B(22); "*K(J)*V(J)+"; B(23); "*Q(J)*V(J)+"
5090 PRINT #1, "+"; B(24); "*I(J)*Q(J)*V(J)+"; B(25); "*P(J)*K(J)*V(J)+"
5100 PRINT #1, "+"; B(26); "*U(J)*K(J)*Q(J)+"; B(27); "*K(J)*Q(J)*V(J),"
5110 PRINT #1, "ГДЕ"
5120 PRINT #1, "I(J)=F(J)^"; J1; "+"; V1; ";"
5130 PRINT #1, "K(J)=F(J)^"; O1; "+"; U1; "*F(J)^"; J1; "+"; Q1
5131 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J)- 1-й ФАКТОР "
5140 IF X = 3 GOTO 6790
5150 PRINT #1, "P(J)=H(J)^"; J2; "+"; V2; ";"
5160 PRINT #1, "Q(J)=H(J)^"; O2; "+"; U2; "*H(J)^"; J2; "+"; Q2
5161 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: H(J)- 2-й ФАКТОР"
5170 IF X = 9 GOTO 6790
5180 PRINT #1, "U(J)=L(J)^"; J3; "+"; V3; ";"
5190 PRINT #1, "V(J)=L(J)^"; O3; "+"; O3; "+"; U3; "*L(J)^"; J3; "+"; Q3
5191 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: L(J)- 3-й ФАКТОР"
6000 IF X = 27 GOTO 6790
6070 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*K(J)+"
6080 PRINT #1, "+"; B(4); "*L(J),"
```

```
6090 IF X = 4 GOTO 6600
6100 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*K(J)+"
6110 PRINT #1, "+"; B(4); "*L(J)+"; B(5); "*M(J),"
6120 IF X = 5 GOTO 6600
6130 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*K(J)+"
6140 PRINT #1, "+"; B(4); "*P(J)+"; B(5); "*I(J)*P(J)+"
6150 PRINT #1, "+"; B(6); "*Q(J)+"; B(7); "*I(J)*Q(J)+"
6160 PRINT #1, "+"; B(8); "*P(J)*K(J)+"; B(9); "*K(J)*Q(J)+"
6170 PRINT #1, "+"; B(10); "*U(J)+"; B(11); "*I(J)*U(J)+"
6180 PRINT #1, "+"; B(12); "*K(J)*U(J),"
6190 IF X = 12 GOTO 6600
6200 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*K(J)+"
6210 PRINT #1, "+"; B(4); "*P(J)+"; B(5); "*I(J)*P(J)+"
6220 PRINT #1, "+"; B(6); "*Q(J)+"; B(7); "*I(J)*Q(J)+"
6230 PRINT #1, "+"; B(8); "*P(J)*K(J)"; B(9); "*K(J)*Q(J)+"
6240 PRINT "+"; B(10); "*U(J)+"; B(11); "*I(J)*U(J)+"
6250 PRINT #1, "+"; B(12); "*K(J)*U(J)+"; B(13); "*V(J)+"
6260 PRINT #1, "+"; B(14); "*I(J)*V(J)+"; B(15); "*K(J)*V(J),"
6270 IF X = 15 GOTO 6600
6280 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*K(J)+"
6290 PRINT #1, "+"; B(4); "*P(J)+"; B(5); "I(J)*P(J)+"
6300 PRINT #1, "+"; B(6); "*Q(J)+"; B(7); "*I(J)*Q(J)+"
6310 PRINT #1, "+"; B(8); "*P(J)*K(J)+"; B(9); "*K(J)*Q(J)+"
6320 PRINT #1, "+"; B(10); "*U(J)+"; B(11); "*I(J)*U(J)+"
6330 PRINT #1, "+"; B(12); "*K(J)*U(J)+"; B(13); "*L(J)+"
6340 PRINT #1, "+"; B(14); "*P(J)*L(J)+"; B(15); "*Q(J)*L(J)+"
6350 PRINT #1, "+"; B(16); "*L(J)*U(J),"
6360 IF X = 16 GOTO 6600
6370 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*K(J)+"
6380 PRINT #1, "+"; B(4); "*P(J)+"; B(5); "*I(J)*P(J)+"
6390 PRINT #1, "+"; B(6); "*Q(J)+"; B(7); "*I(J)+Q(J)+"
6400 PRINT #1, "+"; B(8); "*P(J)*K(J)+"; B(9); "*K(J)*Q(J)+"
6410 PRINT #1, "+"; B(10); "*U(J)+"; B(11); "*I(J)*U(J)+"
6420 PRINT #1, "+"; B(12); "*K(J)*U(J)+"; B(13); "*V(J)+"
6430 PRINT #1, "+"; B(14); "*I(J)*V(J)+"; B(15); "*I(J)*V(J)+"
6440 PRINT #1, "+"; B(16); "*L(J)+"; B(17); "*P(J)*L(J)+"
6450 PRINT #1, "+"; B(18); "*Q(J)*L(J)+"; B(19); "*L(J)*U(J)+"
6460 PRINT #1, "+"; B(20); "*L(J)*V(J),"
6470 IF X = 20 GOTO 6600
6480 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*K(J)+"
6490 PRINT #1, "+"; B(4); "*P(J)+"; B(5); "*I(J)*P(J)+"
6500 PRINT #1, "+"; B(6); "*Q(J)+"; B(7); "*I(J)*Q(J)+"
6510 PRINT #1, "+"; B(8); "*P(J)*Q(J)+"; B(9); "*K(J)*Q(J)+"
6520 PRINT #1, "+"; B(10); "*U(J)+"; B(11); "*I(J)*U(J)+"
6530 PRINT #1, "+"; B(12); "*K(J)*U(J)+"; B(13); "*V(J)+"
6540 PRINT #1, "+"; B(14); "*I(J)*V(J)+"; B(15); "*I(J)*V(J)+"
6550 PRINT #1, "+"; B(16); "*L(J)+"; B(17); "*P(J)*L(J)+"
6560 PRINT #1, "+"; B(18); "*Q(J)*L(J)+"; B(19); "*L(J)*U(J)+"
6570 PRINT #1, "+"; B(20); "*L(J)*V(J)+"; B(21); "*M(J)+"
6580 PRINT #1, "+"; B(22); "*P(J)*M(J)+"; B(23); "*Q(J)*M(J)+"
6590 PRINT #1, "+"; B(24); "*U(J)*M(J)+"; B(25); "*M(J)*V(J),"
6600 PRINT #1, "ГДЕ"
6610 PRINT #1, "I(J)=F(J)^"; J1; "+"; V1; ";"
6620 PRINT #1, "K(J)=F(J)^"; O1; "+"; U1; "*F(J)^"; J1; "+"; Q1
6621 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J)- 1-й ФАКТОР "
6630 IF X = 12 GOTO 6710
6640 IF X = 15 GOTO 6710
6650 PRINT #1, "L(J)=F(J)^"; P1; "+"; I1; "*F(J)^"; O1; "+"
6660 PRINT #1, "+"; M1; "F(J)^"; J1; "+"; F1
6661 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J)- 1-й ФАКТОР "
6670 IF X = 4 GOTO 6790
6673 IF X = 16 GOTO 6710
6675 IF X = 20 GOTO 6710
```

```
6680 PRINT #1, "M(J)=F(J)^"; T1; "+"; G1; "*F(J)^"; P1; "+"
6690 PRINT #1, "+"; H1; "*F(J)^"; O1; "+"; K1; "*F(J)^"; I1; "+"; L1
6691 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J)- 1-й ФАКТОР "
6700 IF X = 5 GOTO 6790
6710 PRINT #1, "P(J)=H(J)^"; J2; "+"; V2; ";"
6720 PRINT #1, "Q(J)=H(J)^"; O2; "+"; U2; "*H(J)^"; J2; "+"; Q2; ";"
6730 PRINT #1, "U(J)=H(J)^"; P2; "+"; I2; "*H(J)^"; O2; "+"
6740 PRINT #1, "+"; M2; "*H(J)^"; J2; "+"; F2
6741 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: H(J)- 2-й ФАКТОР"
6750 IF X = 16 GOTO 6790
6760 PRINT #1, "V(J)=H(J)^"; T2; "+"; G2; "*H(J)^"; P2; "+"
6770 PRINT #1, "+"; H2; "*H(J)^"; O2; "+"; K2; "*H(J)^"; J2; "+"
6780 PRINT #1, "+"; L2
6781 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: H(J)- 2-й ФАКТОР"
6790 PRINT "IF I0=18 GOTO 2660-ПЕРЕХОДЫ"
6792 PRINT "IF I0=19 GOTO 3190-ПЕРЕХОДЫ "
6793 PRINT "IF I0=35 GOTO 1160-ВВОД НОВЫХ Y(J)"
6795 PRINT "IF I0=44 GOTO 6830-КОНЕЦ"
6796 PRINT "IF I0=50 GOTO   40-НАЧАЛО"
6797 PRINT "IF I0=51 GOTO 3240-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И "
6798 PRINT "                 РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
6799 PRINT "IF I0=52 GOTO 7000-"
6800 PRINT "             ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5) "
6802 PRINT "               С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ "
6803 PRINT "                  И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
6805 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0
6810 IF I0 = 18 GOTO 2660
6820 IF I0 = 19 GOTO 3190
6823 IF I0 = 35 GOTO 1160
6825 IF I0 = 44 GOTO 6830
6827 IF I0 = 50 GOTO 40
6828 IF I0 = 51 GOTO 3240
6829 IF I0 = 52 GOTO 7000
6830 CLOSE #1
6832 PRINT "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ  СМОТРИ В ";
6835 PRINT "ФАЙЛЕ "; FA$
6840 END
7000 PRINT #1, "ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
7004 PRINT #1, " ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ"
7005 PRINT #1, " С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ"
7006 PRINT #1, "И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
7010 PRINT "ВВОД I0=61 ПРИ X=3,X=4,X=5"
7020 PRINT "ВВОД I0=62 ПРИ X=9,X=12, X=15, X=16, X=20, X=25"
7030 PRINT "ВВОД I0=63 ПРИ X=27 "
7040 PRINT "IF I0=64 GOTO 40-НАЧАЛО"
7050 PRINT "IF I0=65 GOTO 6830-КОНЕЦ"
7060 INPUT I0
7070 IF I0 = 61 GOTO 7190
7080 IF I0 = 62 GOTO 7330
7090 IF I0 = 63 GOTO 7580
7100 IF I0 = 64 GOTO 40
7110 IF I0 = 65 GOTO 6830
7190 PRINT "ВВОД I0=73 ПРИ X=3,ВВОД I0=74 ПРИ X=4"
7195 PRINT "ВВОД I0=75 ПРИ X=5"
7200 INPUT I0
7210 F3 = 0: F4 = 0: K5 = 0: PRINT #1, "ФАКТОР F(1)=F3+F4"
7213 PRINT "ФАКТОР F(1)=F3+F4"
7215 FOR J = 1 TO X: F(J) = 0: Z(J) = 0: NEXT J: X = 0
7220 PRINT #1, "F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ ФАКТОРА"
7225 PRINT "F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ ФАКТОРА"
7226 PRINT #1, "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ ФАКТОРА"
7227 PRINT "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ ФАКТОРА"
7230 PRINT "ВВОД ПРИНЯТЫХ ВЕЛИЧИН X,F3,F4"
```

```
7240 INPUT X, F3, F4: PRINT #1, "X="; X; "F3="; F3; "F4="; F4
7250 FOR K5 = 1 TO X: F(K5) = F3 + K5 * F4
7255 PRINT #1, "F("; K5; ")="; F(K5)
7260 IF I0 = 73 GOTO 7290
7270 IF I0 = 74 GOTO 7300
7280 IF I0 = 75 GOTO 7310
7290 GOSUB 4150: GOSUB 4390: GOTO 7320
7300 GOSUB 4210: GOSUB 4400: GOTO 7320
7310 GOSUB 4290: GOSUB 4420: GOTO 7320
7320 PRINT #1, "Z("; K5; ")="; Z(K5)
7325 NEXT K5: GOTO 8001
7330 PRINT "ВВОД I0=76 ПРИ X=9,I0=77 ПРИ X=12,I0=78 ПРИ X=15"
7340 PRINT "ВВОД I0=79 ПРИ X=16,I0=80 ПРИ X=20,I0=81 ПРИ X=25"
7350 INPUT I0
7360 F3 = 0: F4 = 0: H3 = 0: H4 = 0: K5 = 0: PRINT #1, "ФАКТОР F(1)=F3+F4"
7361 PRINT "ФАКТОР F(1)=F3+F4"
7365 FOR J = 1 TO X: F(J) = 0: H(J) = 0: Z(J) = 0: NEXT J: X = 0
7370 PRINT #1, "F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 1-ГО ФАКТОРА"
7371 PRINT "F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 1-ГО ФАКТОРА"
7380 PRINT #1, "ФАКТОР H(1)=H3+H4"
7381 PRINT "ФАКТОР H(1)=H3+H4"
7390 PRINT #1, "H4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 2-ГО ФАКТОРА"
7391 PRINT "H4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 2-ГО ФАКТОРА"
7392 PRINT #1, "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ 1, 2-ГО ФАКТОРОВ"
7393 PRINT "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ 1, 2-ГО ФАКТОРОВ"
7400 PRINT "ВВОД ПРИНЯТЫХ ВЕЛИЧИН X,F3,F4,H3,H4"
7410 INPUT X, F3, F4, H3, H4: PRINT #1, "X="; X; "F3="; F3; "F4="; F4
7420 PRINT #1, "H3="; H3; "H4="; H4
7430 FOR K5 = 1 TO X: F(K5) = F3 + K5 * F4
7435 PRINT #1, "F("; K5; ")= "; F(K5)
7440 H(K5) = H3 + K5 * H4: PRINT #1, "H("; K5; ")= "; H(K5)
7450 IF I0 = 76 GOTO 7510
7460 IF I0 = 77 GOTO 7520
7470 IF I0 = 78 GOTO 7530
7480 IF I0 = 79 GOTO 7540
7490 IF I0 = 80 GOTO 7550
7500 IF I0 = 81 GOTO 7560
7510 GOSUB 4150: GOSUB 4170: GOSUB 4450: GOTO 7570
7520 GOSUB 4150: GOSUB 4250: GOSUB 4490: GOTO 7570
7530 GOSUB 4150: GOSUB 4340: GOSUB 4530: GOTO 7570
7540 GOSUB 4210: GOSUB 4250: GOSUB 4580: GOTO 7570
7550 GOSUB 4210: GOSUB 4340: GOSUB 4630: GOTO 7570
7560 GOSUB 4290: GOSUB 4340: GOSUB 4690: GOTO 7570
7570 PRINT #1, "Z("; K5; ")="; Z(K5)
7575 NEXT K5: GOTO 8001
7580 F3 = 0: F4 = 0: H3 = 0: H4 = 0: L3 = 0: L4 = 0
7590 K5 = 0: PRINT #1, "ФАКТОРЫ F(1)=F3+F4,H(1)=H3+H4,L(1)=L3+L4"
7595 FOR J = 1 TO X: F(J) = 0: H(J) = 0: L(J) = 0: Z(J) = 0: NEXT J
7600 X = 0: PRINT #1, "F4,H4,L4- ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 1,2,3-ГО ФАКТОРОВ"
7601 PRINT "F4,H4,L4- ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 1,2,3-ГО ФАКТОРОВ"
7602 PRINT #1, "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ  1,2,3-ГО ФАКТОРОВ"
7603 PRINT "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ  1,2,3-ГО ФАКТОРОВ"
7610 PRINT "ВВОД ПРИНЯТЫХ ВЕЛИЧИН X,F3,F4,H3,H4,L3,L4"
7620 INPUT X, F3, F4, H3, H4, L3, L4
7630 PRINT #1, "X="; X; "F3="; F3; "F4="; F4; "H3="; H3;
7640 PRINT #1, "H4="; H4; "L3="; L3; "L4="; L4
7650 FOR K5 = 1 TO X: F(K5) = F3 + K5 * F4
7655 PRINT #1, "F("; K5; ")="; F(K5)
7660 H(K5) = H3 + K5 * H4: PRINT #1, "H("; K5; ")="; H(K5)
7670 L(K5) = L3 + K5 * L4: PRINT #1, "L("; K5; ")= "; L(K5)
7680 GOSUB 4150: GOSUB 4170: GOSUB 4190: GOSUB 4770: GOTO 7685
7685 PRINT #1, "Z("; K5; ")="; Z(K5):  NEXT K5: GOTO 8001
8001 PRINT #1, "ВЫЯВЛЕНИЕ MAX Z(K5) И MIN Z(K5)": K8 = 0: K8 = Z(1)
```

```
8002 PRINT "ВВОД I0=90-ПРОДОЛЖЕНИЕ"
8004 INPUT I0
8010 FOR K5 = 1 TO X
8020 IF Z(K5) >= K8 THEN K8 = Z(K5)
8040 NEXT K5: PRINT #1, "MAX Z(K5)="; K8
8041 FOR K5 = 1 TO X
8042 IF Z(K5) = K8 THEN PRINT #1, "MAX Z("; K5; ")="; Z(K5)
8044 NEXT K5
8050 K7 = 0: K7 = Z(1)
8060 FOR K5 = 1 TO X
8070 IF Z(K5) <= K7 THEN K7 = Z(K5)
8090 NEXT K5: PRINT #1, "MIN Z(K5)="; K7
8091 FOR K5 = 1 TO X
8092 IF Z(K5) = K7 THEN PRINT #1, "MIN Z("; K5; ")="; Z(K5)
8094 NEXT K5: K6 = 0: PRINT #1, "MIN Z(K5)=K7, MAX Z(K5)=K8"
8095 PRINT #1, "K6(K5)=(Z(K5)+ABS(K7))/(ABS(K7)+ABS(K8))"
8096 FOR K5 = 1 TO X: K6(K5) = (Z(K5) + ABS(K7)) / (ABS(K7) + ABS(K8))
8097 PRINT #1, "K6("; K5; ")="; K6(K5): NEXT K5
8098 J5 = 0: J5 = ABS(K7) / (ABS(K7) + ABS(K8))
8099 PRINT #1, "J5=ABS(K7)/(ABS(K7)+ABS(K8))"
8111 PRINT #1, "J5="; J5
8112 PRINT "IF I0=70 GOTO 7000-ПОВТОРЕНИЕ ";
8113 PRINT " ВЫЧИСЛЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5) ";
8114 PRINT " И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
8115 PRINT "IF I0=80 GOTO 9000-ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА"
8120 INPUT I0
8125 IF I0 = 70 GOTO 7000
8130 IF I0 = 80 GOTO 9000
9000 PRINT "X0="; X0; "Y0="; Y0; "K0="; K0; "K3="; K3
9001 K0 = 0: K3 = 0: K4 = 0: K4 = X: K7 = 0: K8 = 0: X0 = 0: Y0 = 0
9010 PRINT #1, "ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА"
9015 PRINT #1, "ЗАВИСИМОСТЬ K6(K5) ОТ ФАКТОРА"
9020 PRINT #1, "K6(K5)-ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ПОКАЗАТЕЛЯ"
9025 PRINT #1, "K5-НОМЕР ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРА И ПОКАЗАТЕЛЯ"
9030 PRINT #1, "ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРОВ ЗАДАНЫ "
9035 PRINT "ВВОД:X0-ОТСТУП ВПРАВО ПО ОСИ X (ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНО X0=20)"
9036 PRINT "     Y0-ОТСТУП ВНИЗ ПО ОСИ  Y (ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНО Y0=180)"
9037 PRINT "     K0-ДЛИНА ГРАФИКА ПО ОСИ X"
9038 PRINT "     K3-ВЫСОТА ГРАФИКА ПО ОСИ Y"
9045 INPUT X0, Y0, K0, K3
9046 PRINT #1, "X0="; X0; "Y0="; Y0; "K0="; K0; "K3="; K3; ", ГДЕ"
9047 PRINT #1, "             X0-ОТСТУП ВПРАВО ПО ОСИ X "
9048 PRINT #1, "             Y0-ОТСТУП ВНИЗ ПО ОСИ  Y "
9049 PRINT #1, "             K0-ДЛИНА ГРАФИКА ПО ОСИ X"
9050 PRINT #1, "             K3-ВЫСОТА ГРАФИКА ПО ОСИ Y"
9054 KEY OFF: CLS
9055 COLOR 0, 0: SCREEN 2
9056 FOR K5 = 1 TO K4: K7(K5) = K5 * K0: K8(K5) = K3 * K6(K5)
9057 LINE (K7(K5) - X0, Y0)-(K7(K5) - X0, Y0 - K8(K5)): NEXT K5
9059 J6 = 0: J6 = X - 1: J7 = 0: J8 = 0: J9 = 0: K7 = 0: K8 = 0: J9 = K3 * J5
9060 FOR K5 = 1 TO J6: K7(K5) = K5 * K0: K8(K5) = K3 * K6(K5)
9061 J7(K5) = (K5 + 1) * K0: J8(K5) = K3 * K6(K5 + 1)
9062 LINE (K7(K5) - X0, Y0)-(J7(K5) - X0, Y0)
9063 LINE (K7(K5) - X0, Y0 - J9)-(J7(K5) - X0, Y0 - J9)
9065 LINE (K7(K5) - X0, Y0 - K8(K5))-(J7(K5) - X0, Y0 - J8(K5)): NEXT K5
9071 A$ = ""
9072 A$ = INKEY$: IF A$ = "" THEN 9072
9073 SCREEN 0: CLS : COLOR 2, 0
9074 PRINT "ВВОД I0=75 GOTO 9000-ПОВТОРЕНИЕ ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИКА"
9075 PRINT "ВВОД I0=85 GOTO 7000-ПОВТОРЕНИЕ"
9076 PRINT "                ВЫЧИСЛЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
9078 PRINT "                С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ "
9079 PRINT "                И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
```

```
9080 PRINT "ВВОД I0=95 GOTO 6830-КОНЕЦ": PRINT
9081 INPUT I0
9083 IF I0 = 75 GOTO 9000
9090 IF I0 = 85 GOTO 7000
9095 IF I0 = 95 GOTO 6830
```

ОБОЗНАЧЕНИЯ В КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММАХ НА ЯЗЫКЕ БЕЙСИК

В программе определения коэффициентов ортогонализации при пяти уровнях факторов:

A – величина фактора на нижнем уровне;

B – величина фактора на верхнем уровне;

C, E, D – величины факторов между верхним и нижним уровнями;

N=n; R=r; S=s; W=w – показатели степени в уравнении регрессии;

N0 = $\overline{x_m^n}$; R0 = $\overline{x_m^r}$; S0 = $\overline{x_m^s}$; W0 = $\overline{x_m^w}$ - средние арифметические величины;

L2=2∗N=2·n; K2=2∗R=2·r; M2=2∗S=2·s;

N4=N+R=n+r; N6=N+S=n+s; N8=N+W=g+w;

R4=R+S=r+s; R6=R+W=r+w; S4=S+W=s+w -

показатели степени при определении коэффициентов ортогонализации;

N3 = $\overline{x_m^{2\cdot n}}$; R3 = $\overline{x_m^{2\cdot r}}$; S3 = $\overline{x_m^{2\cdot s}}$; N5 = $\overline{x_m^{n+r}}$;

N7 = $\overline{x_m^{n+s}}$; N9 = $\overline{x_m^{n+w}}$; R5 = $\overline{x_m^{r+s}}$; R7 = $\overline{x_m^{r+w}}$;

S5 = $\overline{x_m^{s+w}}$ - средние арифметические величины;

V0 = v_m; U0 = a_m; Q0 = c_m; P0 = p_m;

Z1 = t_{m1}; Z2 = t_{m2}; Z3 = t_{m3}; I0 = d_m;

M0 = e_m; F0 = f_m; Z4 = t_{m4}; Z5 = t_{m5};

Z6 = t_{m6}; Z7 = t_{m7}; Z0 = Z_m; Z8 = t_{m8};

Z9 = t_{m9}; T7 = t_{m10}; T8 = t_{m11}; T9 = t_{m12};

G3 = t_{m13}; G4 = t_{m14}; G5 = t_{m15}; G6 = t_{m16};

G7 = t_{m17}; G0 = g_m; H0 = h_m; K0 = k_m;

L0 = l_m – величины для расчета коэффициентов ортогонализации.

В компьютерных программах при пяти уровнях факторов:

X – количество опытов по плану проведения экспериментов;

A1 = x_{1a}; B1 = $x_{1в}$; C1 = x_{1c}; D1 = x_{1d}; E1 = x_{1e} - величины первого фактора;

J1, O1, P1, T1 – показатели степени первого фактора в уравнении регрессии (соответствуют величинам n, r, s, w для первого фактора);

A2 = x_{2a}; B2 = $x_{2в}$; C2 = x_{2c}; D2 = x_{2d}; E2 = x_{2e} - величины второго фактора;

J2, O2, P2, T2 – показатели степени второго фактора в уравнении регрессии (соответствуют величинам n, r, s, w для второго фактора);

V1, U1, Q1, I1, M1, F1, G1, H1, K1, L1 – коэффициенты ортогонализации, определенные по величинам первого фактора;

V2, U2, Q2, I2, M2, F2, G2, H2, K2, L2 – коэффициенты ортогонализации, определенные по величинам второго фактора;

Y(1) = y_1, Y(2) = y_2, Y(3) = y_3… - величины показателей в соответствии с планом Y(J), y_u;

B(1), B(2), B(3)… - коэффициенты в уравнении;

Z(1), Z(2), Z(3)… - расчетные величины показателей Z(J);

N0 – количество опытов на среднем уровне факторов;

U9 – дисперсия опытов;

T(1), T(2), T(3)… - расчетные величины t – критерия T(J);

T0 – табличный t – критерий;

K9 – количество статистически значимых коэффициентов регрессии;

F6 – расчетная величина F-критерия;

Z(J) – показатель в математической модели.

В подпрограмме определения коэффициентов ортогонализации при четырех уровнях факторов:

A – величина фактора на нижнем уровне;

B – величина фактора на верхнем уровне;

C, D – величины факторов между верхним и нижним уровнями;

N = n; R = r; S = s – показатели степени в уравнении регрессии;

N0 = $\overline{x_m^n}$; R0 = $\overline{x_m^r}$; S0 = $\overline{x_m^s}$ - средние арифметические величины;

L2=2 * N=2·n; K2=2 * R=2·r; N4=N+R=n+r;

N6=N+S=n+s; R4=R+S=r+s – показатели степени при определении коэффициентов ортогонализации;

N3 = $\overline{x_m^{2\cdot n}}$; R3 = $\overline{x_m^{2\cdot r}}$; N5 = $\overline{x_m^{n+r}}$;

N7 = $\overline{x_m^{n+s}}$; R5 = $\overline{x_m^{r+s}}$ - средние арифметические величины;

V0 = v_m; U0 = a_m; Q0 = c_m;

P0 = p_m; Z1 = t_{m1}; Z2 = t_{m2};

Z3 = t_{m3}; I0 = d_m; M0 = e_m;

F0 = f_m – величины для расчета коэффициентов ортогонализации.

В компьютерных программах при четырех уровнях факторов:

X – количество опытов по плану проведения экспериментов;

A1 = x_{1a}; B1 = $x_{1в}$; C1 = x_{1c}; D1 = x_{1d} - величины первого фактора;

J1, O1, P1 – показатели степени первого фактора в уравнении регрессии (соответствуют величинам n, r, s для первого фактора);

A2 = x_{2a}; B2 = $x_{2в}$; C2 = x_{2c}; D2 = x_{2d} - величины второго фактора;

J2, O2, P2 – показатели степени второго фактора в уравнении регрессии (соответствуют величинам n, r, s для второго фактора);

V1, U1, Q1, I1, M1, F1 – коэффициенты ортогонализации, определенные по величинам первого фактора;

V2, U2, Q2, I2, M2, F2 – коэффициенты ортогонализации, определенные по величинам второго фактора;

далее обозначения такие же, как в компьютерных программах при пяти уровнях факторов.

В подпрограмме определения коэффициентов ортогонализации при трех уровнях факторов:

A – величина фактора на нижнем уровне;

B – величина фактора на верхнем уровне;

E – величина фактора между верхним и нижним уровнями;

N = n; R = r – показатели степени в уравнении регрессии;

N0 = $\overline{x_m^n}$; R0 = $\overline{x_m^r}$ - средние арифметические величины;

L2=2 * N=2·n; N4=N+R=n+r;

N3 = $\overline{x_m^{2 \cdot n}}$; N5 = $\overline{x_m^{n+r}}$ - средние арифметические величины;

V0 = v_m; U0 = a_m; Q0 = c_m – величины для расчета коэффициентов ортогонализации.

В компьютерных программах при трех уровнях факторов:

X – количество опытов по плану проведения экспериментов;

A1 = x_{1a}; B1 = $x_{1в}$; E1 = x_{1e} - величины первого фактора;

J1, O1 – показатели степени первого фактора в уравнении регрессии (соответствуют величинам n, r для первого фактора);

A2 = x_{2a}; B2 = $x_{2в}$; E2 = x_{2e} - величины второго фактора;

J2, O2 – показатели степени второго фактора в уравнении регрессии (соответствуют величинам n, r для второго фактора);

A3 = x_{3a}; B3 = $x_{3в}$; E3 = x_{3e} - величины третьего фактора;

J3, O3 – показатели степени третьего фактора в уравнении регрессии (соответствуют величинам n, r для третьего фактора);

V1, U1, Q1 – коэффициенты ортогонализации, определенные по величинам первого фактора;

V2, U2, Q2 – коэффициенты ортогонализации, определенные по величинам второго фактора;

V3, U3, Q3 – коэффициенты ортогонализации, определенные по величинам третьего фактора;

далее обозначения такие же, как в компьютерных программах на пяти уровнях факторов.

В программе определения коэффициента ортогонализации при двух уровнях факторов:

A – величина фактора на нижнем уровне;

B – величина фактора на верхнем уровне;

N = n – показатель степени в уравнении регрессии;

N0 = $\overline{x_m^n}$ - средняя арифметическая величина;

V0 = v_m – величина для расчета коэффициента ортогонализации.

В компьютерных программах при двух уровнях факторов:

X – количество опытов по плану проведения экспериментов;

A1 = x_{1a}; B1 = $x_{1в}$;

A2 = x_{2a}; B2 = $x_{2в}$;

A3 = x_{3a}; B3 = $x_{3в}$;

A4 = x_{4a}; B4 = $x_{4в}$;

A5 = x_{5a}; B5 = $x_{5в}$ – соответственно величины первого, второго, третьего, четвертого, пятого фактора;

J1, J2, J3, J4, J5 – соответственно показатели степени первого, второго, третьего, четвертого, пятого фактора в уравнении регрессии (соответствуют величина n для каждого фактора);

V1, V2, V3, V4, V5 – соответственно коэффициенты ортогонализации, определенные по величинам каждого фактора;

далее обозначения такие же, как в компьютерных программах на пяти уровнях факторов.

В компьютерных программах математического моделирования, переложенных с языка Бейсик на язык Турбо Паскаль, сохранены основные обозначения, принятые при разработке программ на языке Бейсик.

ПРОГРАММЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ДОБАВЛЕНИЕМ ПОДПРОГРАММ СИСТЕМНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ

ПРОГРАММА NW5 НА ЯЗЫКЕ БЕЙСИК ДЛЯ СЛУЧАЕВ ПЛАНИРОВАНИЯ 5^1 (X=5), 5^2 (X=25)

```
5 PRINT "ПРОГРАММА NW5,РАЗРАБОТКА А.А.ЧЕРНОГО"
6 CLS
7 PRINT "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ NW5"
8 PRINT "ЗАНОСЯТСЯ В ФАЙЛ,ИМЯ КОТОРОГО НАДО ВВЕСТИ,"
9 PRINT "НАПРИМЕР, ВВЕСТИ ИМЯ ФАЙЛА  NW51"
10 INPUT "ВВОД ИМЕНИ ФАЙЛА  ", FA$
14 OPEN "O", #1, FA$
17 PRINT "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ NW5 ЗАНОСЯТСЯ В ФАЙЛ "; FA$
40 PRINT " РАЗРАБОТКИ ДЛЯ X=5,X=25"
41 PRINT #1, "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ NW5, РАЗРАБОТАННОЙ А.А. ЧЕРНЫМ"
42 DIM F(50), H(50), L(50), Y(27), I(50), K(50), M(50), P(50)
44 DIM Q(50), U(50), V(50), O(27), B(27), Z(50), G(20), T(27)
46 DIM K6(50), K7(50), K8(50), J7(50), J8(50), J9(50)
47 DIM Z1(50)
51 PRINT "ВВОД X-КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ "
52 PRINT #1, "КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ "
60 INPUT X: PRINT #1, "X="; X
61 PRINT #1, "ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕПЕНИ"
62 PRINT "ВВОД ВЕЛИЧИН ФАКТОРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕПЕНИ"
90 IF X = 5 GOTO 270
100 IF X = 25 GOTO 270
270 PRINT "ВВОД A1,C1,E1,D1,B1,J1,O1,P1,T1"
280 INPUT A1, C1, E1, D1, B1, J1, O1, P1, T1
290 PRINT #1, "A1="; A1; " C1="; C1; " E1="; E1
293 PRINT #1, "D1="; D1; " B1="; B1; " J1="; J1
295 PRINT #1, "O1="; O1; " P1="; P1; " T1="; T1: A = A1: B = B1
300 C = C1: D = D1: E = E1: N = J1: R = O1: S = P1: W = T1: GOSUB 3860
310 V1 = V0: U1 = U0: Q1 = Q0: I1 = I0: M1 = M0: F1 = F0: G1 = G0: H1 = H0
320 K1 = K0: L1 = L0: PRINT #1, "V1="; V1; " U1="; U1; " Q1="; Q1
323 PRINT #1, "I1="; I1; " M1="; M1; " F1="; F1; " G1="; G1
325 PRINT #1, "H1="; H1; " K1="; K1; " L1="; L1
330 IF X = 25 GOTO 460
340 IF X = 5 GOTO 610
460 PRINT "ВВОД A2,C2,E2,D2,B2,J2,O2,P2,T2"
470 INPUT A2, C2, E2, D2, B2, J2, O2, P2, T2
480 PRINT #1, "A2="; A2; " C2="; C2; " E2="; E2; " D2="; D2
483 PRINT #1, "B2="; B2; " J2="; J2; " O2="; O2
485 PRINT #1, "P2="; P2; " T2="; T2: A = A2: B = B2
490 C = C2: D = D2: E = E2: N = J2: R = O2: S = P2: W = T2: GOSUB 3860
500 V2 = V0: U2 = U0: Q2 = Q0: I2 = I0: M2 = M0: F2 = F0: G2 = G0: H2 = H0
510 K2 = K0: L2 = L0: PRINT #1, "V2="; V2; "U2="; U2; "Q2="; Q2
513 PRINT #1, "I2="; I2; " M2="; M2; " F2="; F2; " G2="; G2
515 PRINT #1, "H2="; H2; " K2="; K2; " L2="; L2
540 IF X = 25 GOTO 900
589 REM ПЛАНЫ
```

```
610 F(1) = A1: F(2) = B1: F(3) = C1: F(4) = D1: F(5) = E1: GOTO 1130
900 F(1) = A1: H(1) = A2: F(2) = B1: H(2) = A2: F(3) = A1: H(3) = B2
910 F(4) = B1: H(4) = B2: F(5) = A1: H(5) = E2: F(6) = B1: H(6) = E2
920 F(7) = E1: H(7) = A2: F(8) = E1: H(8) = B2: F(9) = E1: H(9) = E2
930 F(10) = A1: H(10) = C2: F(11) = B1: H(11) = D2: F(12) = A1: H(12) = D2
940 F(13) = B1: H(13) = C2: F(14) = E1: H(14) = C2: F(15) = E1: H(15) = D2
950 F(16) = C1: H(16) = A2: F(17) = C1: H(17) = C2: F(18) = C1: H(18) = E2
960 F(19) = C1: H(19) = D2: F(20) = C1: H(20) = B2: F(21) = D1: H(21) = A2
970 F(22) = D1: H(22) = C2: F(23) = D1: H(23) = E2: F(24) = D1: H(24) = D2
980 F(25) = D1: H(25) = B2: GOTO 1130
1130 PRINT "IF I0=6 GOTO 40-НАЧАЛО"
1135 PRINT "IF I0=7 GOTO 1160-ПРОДОЛЖЕНИЕ"
1140 INPUT I0: IF I0 = 6 GOTO 40
1150 IF I0 = 7 GOTO 1160
1160 PRINT "ВВОД ВЕЛИЧИН ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО ПЛАНУ Y(J) "
1161 PRINT #1, "ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СООТВЕТСТВИИ С ПЛАНОМ Y(J)"
1165 FOR J = 1 TO X
1166 PRINT "Y("; J; ")": INPUT Y(J)
1170 PRINT #1, "Y("; J; ")="; Y(J): NEXT J
1180 PRINT "IF I0=1 GOTO 1160-ПОВТОРЕНИЕ ВВОДА ПОКАЗАТЕЛЕЙ"
1185 PRINT "IF I0=2 GOTO 1230-ПРОДОЛЖЕНИЕ"
1190 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0: IF I0 = 1 GOTO 1160
1200 IF I0 = 2 GOTO 1230
1230 IF X = 5 GOTO 1330
1290 IF X = 25 GOTO 1390
1330 GOSUB 4290: GOTO 1410
1390 GOSUB 4290: GOSUB 4340: GOTO 1410
1410 S = 0: O(1) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + Y(J): O(1) = O(1) + 1: NEXT J
1420 B(1) = S / O(1): S = 0: O(2) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * Y(J)
1430 O(2) = O(2) + I(J) ^ 2: NEXT J: B(2) = S / O(2): S = 0: O(3) = 0
1440 FOR J = 1 TO X: S = S + K(J) * Y(J): O(3) = O(3) + K(J) ^ 2: NEXT J
1450 B(3) = S / O(3)
1470 IF X = 5 GOTO 2000
1480 S = 0: O(4) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * Y(J)
1490 O(4) = O(4) + P(J) ^ 2: NEXT J: B(4) = S / O(4): S = 0: O(5) = 0
1500 FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * P(J) * Y(J): O(5) = O(5) + (I(J) * P(J)) ^ 2
1510 NEXT J: B(5) = S / O(5): S = 0: O(6) = 0: FOR J = 1 TO X
1520 S = S + Q(J) * Y(J): O(6) = O(6) + Q(J) ^ 2: NEXT J: B(6) = S / O(6)
1530 S = 0: O(7) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * Q(J) * Y(J)
1540 O(7) = O(7) + (I(J) * Q(J)) ^ 2: NEXT J: B(7) = S / O(7): S = 0
1550 O(8) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * K(J) * Y(J)
1560 O(8) = O(8) + (P(J) * K(J)) ^ 2: NEXT J: B(8) = S / O(8): S = 0: O(9) = 0
1570 FOR J = 1 TO X: S = S + K(J) * Q(J) * Y(J): O(9) = O(9) + (K(J) * Q(J)) ^ 2
1580 NEXT J: B(9) = S / O(9)
1600 S = 0: O(10) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * Y(J): O(10) = O(10) + U(J) ^ 2
1610 NEXT J: B(10) = S / O(10): S = 0: O(11) = 0: FOR J = 1 TO X
1620 S = S + I(J) * U(J) * Y(J): O(11) = O(11) + (I(J) * U(J)) ^ 2: NEXT J
1630 B(11) = S / O(11): S = 0: O(12) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + K(J) * U(J) * Y(J)
1640 O(12) = O(12) + (K(J) * U(J)) ^ 2: NEXT J: B(12) = S / O(12)
1670 S = 0: O(13) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + V(J) * Y(J)
1680 O(13) = O(13) + V(J) ^ 2: NEXT J: B(13) = S / O(13): S = 0: O(14) = 0
1690 FOR J = 1 TO X: S = S + I(J) * V(J) * Y(J): O(14) = O(14) + (I(J) * V(J)) ^ 2
1700 NEXT J: B(14) = S / O(14): S = 0: O(15) = 0: FOR J = 1 TO X
1710 S = S + K(J) * V(J) * Y(J): O(15) = O(15) + (K(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J
1720 B(15) = S / O(15)
1730 S = 0: O(16) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + L(J) * Y(J): O(16) = O(16) + L(J) ^ 2
1740 NEXT J: B(16) = S / O(16): S = 0: O(17) = 0: FOR J = 1 TO X
1750 S = S + P(J) * L(J) * Y(J): O(17) = O(17) + (P(J) * L(J)) ^ 2: NEXT J
1760 B(17) = S / O(17): S = 0: O(18) = 0: FOR J = 1 TO X
1770 S = S + Q(J) * L(J) * Y(J): O(18) = O(18) + (Q(J) * L(J)) ^ 2: NEXT J
1780 B(18) = S / O(18): S = 0: O(19) = 0: FOR J = 1 TO X
1790 S = S + L(J) * U(J) * Y(J): O(19) = O(19) + (L(J) * U(J)) ^ 2: NEXT J
```

```
1800 B(19) = S / O(19): S = 0: O(20) = 0: FOR J = 1 TO X
1810 S = S + L(J) * V(J) * Y(J): O(20) = O(20) + (L(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J
1820 B(20) = S / O(20)
1830 S = 0: O(21) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + M(J) * Y(J)
1840 O(21) = O(21) + M(J) ^ 2: NEXT J: B(21) = S / O(21): S = 0: O(22) = 0
1850 FOR J = 1 TO X: S = S + P(J) * M(J) * Y(J): O(22) = O(22) + (P(J) * M(J)) ^ 2
1860 NEXT J: B(22) = S / O(22): S = 0: O(23) = 0: FOR J = 1 TO X
1870 S = S + Q(J) * M(J) * Y(J): O(23) = O(23) + (Q(J) * M(J)) ^ 2: NEXT J
1880 B(23) = S / O(23): S = 0: O(24) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + U(J) * M(J) * Y(J)
1890 O(24) = O(24) + (U(J) * M(J)) ^ 2: NEXT J: B(24) = S / O(24): S = 0
1900 O(25) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + M(J) * V(J) * Y(J)
1910 O(25) = O(25) + (M(J) * V(J)) ^ 2: NEXT J: B(25) = S / O(25)
1920 IF X = 25 GOTO 2390
2000 S = 0: O(4) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + L(J) * Y(J): O(4) = O(4) + L(J) ^ 2
2010 NEXT J: B(4) = S / O(4)
2020 S = 0: O(5) = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + M(J) * Y(J)
2030 O(5) = O(5) + M(J) ^ 2: NEXT J: B(5) = S / O(5): GOTO 2390
2390 PRINT #1, "B(J) ДО АНАЛИЗА": FOR J = 1 TO X
2395 PRINT #1, "B("; J; ")="; B(J)
2397 NEXT J: PRINT
2400 PRINT "ВВОД N0-КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ"
2407 INPUT N0
2408 PRINT #1, "КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ"
2410 PRINT #1, "N0="; N0
2430 IF X = 5 GOTO 2530
2490 IF X = 25 GOTO 2590
2530 GOSUB 4420: GOTO 2610
2590 GOSUB 4690: GOTO 2610
2610 PRINT #1, "РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(J) ДО АНАЛИЗА B(J)"
2620 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Z("; J; ")="; Z(J): NEXT J
2630 PRINT "ВВОД F8=N0-1": INPUT F8
2633 PRINT #1, "F8=N0-1="; F8
2635 PRINT "F8="; F8
2640 PRINT #1, "ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ Y(J)-Z(J)"
2641 PRINT #1, "В ПРОЦЕНТАХ (Y(J)-Z(J)) * (100/Y(J))"
2650 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Y("; J; ")-Z("; J; ")="; Y(J) - Z(J)
2651 PRINT #1, "(Y("; J; ")-Z("; J; ")) * (100 / Y("; J; ")) = "; (Y(J) - Z(J)) * (100 / Y(J))
2655 NEXT J
2660 PRINT "IF I0=3 GOTO 2720-ВВОД РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ "
2663 PRINT "                НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ"
2666 PRINT "IF I0=4 GOTO 2770-ВВОД ДИСПЕРСИИ ОПЫТОВ"
2670 PRINT "IF I0=5 GOTO 3240-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И "
2672 PRINT "                РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
2673 PRINT "IF I0=6 GOTO    40-НАЧАЛО"
2677 PRINT "IF I0=20 GOTO 6830-КОНЕЦ"
2678 PRINT "IF I0=25 GOTO 4880-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ"
2679 PRINT "IF I0=27 GOTO 7000-ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
2681 PRINT "                С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ И "
2684 PRINT "                ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
2689 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0: IF I0 = 3 GOTO 2720
2690 IF I0 = 4 GOTO 2770
2700 IF I0 = 5 GOTO 3240
2710 IF I0 = 6 GOTO 40
2715 IF I0 = 20 GOTO 6830
2717 IF I0 = 25 GOTO 4880
2718 IF I0 = 27 GOTO 7000
2720 PRINT "ВВОД G(J)-РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ ";
2721 PRINT "НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ "
2722 PRINT #1, "РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ ";
2723 PRINT #1, "НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ "
2724 FOR J = 1 TO N0: PRINT "G("; J; ")": INPUT G(J)
2730 PRINT #1, "G("; J; ")="; G(J): NEXT J: S = 0: FOR J = 1 TO N0: S = S + G(J)
2740 NEXT J: S0 = S / N0: PRINT "S0="; S0: S = 0: FOR J = 1 TO N0
```

```
2750 S = S + (G(J) - S0) ^ 2: NEXT J: U9 = S / F8
2751 PRINT #1, "ДИСПЕРСИЯ ОПЫТОВ U9="; U9
2760 GOTO 2780
2770 PRINT "ВВОД U9-ДИСПЕРСИЯ ОПЫТОВ": INPUT U9
2771 PRINT #1, "ДИСПЕРСИЯ ОПЫТОВ U9="; U9
2780 PRINT #1, "РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ T(J)": FOR J = 1 TO X
2790 T(J) = ABS(B(J) / SQR(U9 / O(J))): PRINT #1, "T("; J; ")="; T(J): NEXT J
2800 PRINT "                    ДЛЯ УРОВНЯ ЗНАЧИМОСТИ 5% "
2801 PRINT "          ПРИ F8    2   ;  3   ;    4 ;  5   ; 6"
2802 PRINT "СООТВЕТСТВЕННО T0  4.303 ;3.182 ;2.776 ;2.571 ;2.447"
2803 PRINT "F8=N0-1="; N0; "-1="; F8
2804 PRINT "ВВОД T0-ТАБЛИЧНЫЙ T-КРИТЕРИЙ"
2805 INPUT T0
2806 PRINT #1, "ТАБЛИЧНЫЙ T-КРИТЕРИЙ T0="; T0
2810 PRINT #1, "B(J) ПОСЛЕ АНАЛИЗА": FOR J = 1 TO X
2820 IF T(J) < T0 GOTO 2840
2830 IF T(J) >= T0 GOTO 2850
2840 B(J) = 0
2850 PRINT #1, "B("; J; ")="; B(J): NEXT J
2860 K9 = 0: FOR J = 1 TO X: IF B(J) = 0 GOTO 2871
2870 K9 = K9 + 1
2871 NEXT J
2872 PRINT #1, "КОЛИЧЕСТВО СТАТИСТИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ"
2873 PRINT #1, "          КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГРЕССИИ K9="; K9
2881 PRINT #1, "F9=X-1": F9 = X - 1
2882 PRINT #1, "F9="; F9: CLS
2883 PRINT "!  ! ЗНАЧЕНИЯ F-КРИТЕРИЯ F7 ДЛЯ 5%-ГО УРОВНЯ ЗНАЧИМОСТИ"
2884 PRINT "!  !-----------------------------------------------------"
2885 PRINT "!F8!                    F9                          "
2886 PRINT "!  !-----------------------------------------------------"
2887 PRINT "!  !   2   !  3    !  4    !    8   !   11   !   14    "
2888 PRINT "-------------------------------------------------------"
2889 PRINT "! 2! 19.0  ! 19.16 ! 19.25 ! 19.37  !  19.4  !  19.42  "
2890 PRINT "! 3!  9.55 !  9.28 !  9.12 !  8.84  !   8.76 !   8.71  "
2891 PRINT "! 4!  6.94 !  6.59 !  6.39 !  6.04  !   5.93 !   5.87  "
2892 PRINT "! 5!  5.79 !  5.41 !  5.19 !  4.82  !   4.7  !   4.64  "
2893 PRINT "! 6!  5.14 !  4.76 !  4.53 !  4.15  !   4.03 !   3.96  "
2894 PRINT "!========================================================"
2895 PRINT "! F8 \ F9 ! 15...16 ! 19...20 !   24     !  26...30   !"
2896 PRINT "!-------------------------------------------------------"
2897 PRINT "! 2  !        19.43 !   19.44 !   19.45  !    19.46   !"
2898 PRINT "! 3  !         8.69 !    8.66 !    8.64  !     8.62   !"
2899 PRINT "! 4  !         5.84 !    5.8  !    5.77  !     5.74   !"
2900 PRINT "! 5  !         4.6  !    4.56 !    4.53  !     4.5    !"
2901 PRINT "! 6  !         3.92 !    3.87 !    3.84  !     3.81   !"
2902 PRINT "-------------------------------------------------------"
2907 PRINT "F8="; F8; "F9="; F9
2908 PRINT "ВВОД F7-ТАБЛИЧНЫЙ F-КРИТЕРИЙ"
2909 INPUT F7: PRINT #1, "ТАБЛИЧНЫЙ F-КРИТЕРИЙ F7="; F7
2930 IF X = 5 GOTO 3030
2990 IF X = 25 GOTO 3090
3030 GOSUB 4420: GOTO 3110
3090 GOSUB 4690: GOTO 3110
3110 PRINT #1, "РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЯ";
3115 PRINT #1, " Z(J) ПОСЛЕ АНАЛИЗА B(J)"
3120 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Z("; J; ")="; Z(J): NEXT J
3121 PRINT #1, "ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ Y(J)-Z(J)"
3122 PRINT #1, "В ПРОЦЕНТАХ (Y(J)-Z(J)) * (100/Y(J))"
3123 FOR J = 1 TO X: PRINT #1, "Y("; J; ")-Z("; J; ")="; Y(J) - Z(J)
3124 PRINT #1, "(Y("; J; ")-Z("; J; ")) * (100 / Y("; J; ")) = "; (Y(J) - Z(J)) * (100 / Y(J))
3125 NEXT J
3130 S = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + (Z(J) - Y(J)) ^ 2: NEXT J
3140 F6 = S / (F9 * U9)
```

```
3145 PRINT #1, "РАСЧЕТНАЯ ВЕЛИЧИНА F-КРИТЕРИЯ F6="; F6
3150 IF F6 <= F7 GOTO 3152
3151 IF F6 > F7 GOTO 3153
3152 PRINT "АДЕКВАТНО":  PRINT #1, "АДЕКВАТНО,ТАК КАК F6<=F7": GOTO 3154
3153 PRINT "НЕАДЕКВАТНО": PRINT #1, "НЕАДЕКВАТНО,ТАК КАК F6>F7": GOTO 3190
3154 PRINT #1, "СИСТЕМНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ"
3155 PRINT #1, "ДЛЯ АНАЛИЗОВ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ"
3156 PRINT #1, "ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ"
3157 S = 0: FOR J = 1 TO X: S = S + ABS(Z(J)): NEXT J
3158 Z1 = 0: FOR J = 1 TO X: Z1(J) = Z(J) / (S / X): NEXT J
3159 PRINT #1, "ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ПОКАЗАТЕЛЯ"
3160 PRINT #1, "Z1(J)=Z(J)/(S/X),ГДЕ S-СУММА"
3161 PRINT #1, "АБСОЛЮТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОКАЗАТЕЛЕЙ,S="; S
3162 PRINT #1, "S/X-СРЕДНЯЯ АРИФМЕТИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА,S/X="; S / X
3168 IF X = 5 GOTO 3178

3169 IF X = 25 GOTO 3179
3178 GOSUB 11580: GOTO 3190
3179 GOSUB 11640: GOTO 3190
3190 PRINT "IF I0=7 GOTO  3240-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И "
3193 PRINT "                РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
3194 PRINT "IF I0=8 GOTO    40-НАЧАЛО"
3197 PRINT "IF I0=17 GOTO 4880-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ"
3198 PRINT "IF I0=22 GOTO 7000-ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
3200 PRINT "                С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ И "
3203 PRINT "                ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
3207 PRINT "IF I0=9 GOTO  6830-КОНЕЦ": PRINT "ВВОД I0": INPUT I0
3210 IF I0 = 7 GOTO 3240
3220 IF I0 = 8 GOTO 40
3227 IF I0 = 17 GOTO 4880
3228 IF I0 = 22 GOTO 7000
3230 IF I0 = 9 GOTO 6830
3240 PRINT "ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
3241 PRINT "F(S),H(S)-1, 2-Й ФАКТОРЫ,"
3243 PRINT "ГДЕ S=X="; X; "-КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ"
3245 PRINT #1, "РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
3270 IF X = 5 GOTO 3350
3330 IF X = 25 GOTO 3420
3350 FOR S = 1 TO X: F(S) = 0: Z(S) = 0: PRINT "ВВОД F("; S; ")"
3360 INPUT F(S): PRINT #1, "ФАКТОР F("; S; ")="; F(S)
3380 IF X = 5 GOTO 3410
3410 GOSUB 4290: GOSUB 4420: GOTO 3412
3412 PRINT #1, "Z("; S; ")="; Z(S): NEXT S: GOTO 3610
3420 FOR S = 1 TO X: F(S) = 0: H(S) = 0: Z(S) = 0
3430 PRINT "ВВОД F("; S; "),H("; S; ")": INPUT F(S), H(S)
3432 PRINT #1, " ФАКТОРЫ F("; S; ")="; F(S); "H("; S; ")="; H(S)
3490 IF X = 25 GOTO 3550
3550 GOSUB 4290: GOSUB 4340: GOSUB 4690: GOTO 3552
3552 PRINT #1, "Z("; S; ")="; Z(S): NEXT S: GOTO 3610
3610 PRINT "IF I0=10 GOTO 3240-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И ";
3611 PRINT "РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
3612 PRINT "IF I0=11 GOTO 4880 - МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ"
3615 PRINT "IF I0=14 GOTO 7000-ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
3616 PRINT "                С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ И "
3617 PRINT "                ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
3620 PRINT "IF I0=12 GOTO 6830-КОНЕЦ"
3625 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0
3630 IF I0 = 10 GOTO 3240
3640 IF I0 = 11 GOTO 4880
3650 IF I0 = 12 GOTO 6830
3653 IF I0 = 14 GOTO 7000
3860 N0 = (A ^ N + B ^ N + C ^ N + D ^ N + E ^ N) / 5
```

```
3870 R0 = (A ^ R + B ^ R + C ^ R + D ^ R + E ^ R) / 5

3880 S0 = (A ^ S + B ^ S + C ^ S + D ^ S + E ^ S) / 5
3890 W0 = (A ^ W + B ^ W + C ^ W + D ^ W + E ^ W) / 5
3900 L2 = 2 * N: N3 = (A ^ L2 + B ^ L2 + C ^ L2 + D ^ L2 + E ^ L2) / 5
3910 K2 = 2 * R: R3 = (A ^ K2 + B ^ K2 + C ^ K2 + D ^ K2 + E ^ K2) / 5
3920 M2 = 2 * S: S3 = (A ^ M2 + B ^ M2 + C ^ M2 + D ^ M2 + E ^ M2) / 5
3930 N4 = N + R: N5 = (A ^ N4 + B ^ N4 + C ^ N4 + D ^ N4 + E ^ N4) / 5
3940 N6 = N + S: N7 = (A ^ N6 + B ^ N6 + C ^ N6 + D ^ N6 + E ^ N6) / 5
3950 N8 = N + W: N9 = (A ^ N8 + B ^ N8 + C ^ N8 + D ^ N8 + E ^ N8) / 5
3960 R4 = R + S: R5 = (A ^ R4 + B ^ R4 + C ^ R4 + D ^ R4 + E ^ R4) / 5
3970 R6 = R + W: R7 = (A ^ R6 + B ^ R6 + C ^ R6 + D ^ R6 + E ^ R6) / 5
3980 S4 = S + W: S5 = (A ^ S4 + B ^ S4 + C ^ S4 + D ^ S4 + E ^ S4) / 5
3990 V0 = -N0: U0 = (N0 * R0 - N5) / (N3 - N0 ^ 2): Q0 = -(R0 + U0 * N0)
4000 P0 = (N0 * S0 - N7) / (N3 - N0 ^ 2): Z1 = R0 * S0 - R5 + P0 * (N0 * R0 - N5)
4010 Z2 = U0 * (N0 * S0 - N7) + U0 * P0 * (N0 ^ 2 - N3)
4020 Z3 = R3 - R0 ^ 2 + 2 * U0 * (N5 - N0 * R0)
4030 I0 = (Z1 + Z2) / (Z3 + (N3 - N0 ^ 2) * U0 ^ 2): M0 = I0 * U0 + P0
4040 F0 = -(S0 + I0 * R0 + M0 * N0): Z4 = R0 + U0 * N0
4050 Z5 = Z4 * N0 - N5 - U0 * N3: Z6 = R3 + U0 * N5 - Z4 * R0 - Z5 * U0
4060 Z7 = Z4 * S0 + Z5 * P0 - R5 - U0 * N7: Z0 = (N0 * W0 - N9) / (N3 - N0 ^ 2)
4070 Z8 = Z5 * Z0 + Z4 * W0 - R7 - U0 * N9: Z9 = S3 + I0 * R5 + M0 * N7
4080 T7 = R5 + I0 * R3 + M0 * N5: T8 = N7 + I0 * N5 + M0 * N3
4090 T9 = S0 + I0 * R0 + M0 * N0: G3 = S5 + I0 * R7 + M0 * N9
4100 G4 = T9 * N0 - T8: G5 = Z9 - T9 * S0 - G4 * P0
4110 G6 = T9 * R0 - T7 + G4 * U0: G7 = G4 * Z0 + T9 * W0 - G3
4120 G0 = (Z6 * G7 + Z8 * G6) / (Z6 * G5 - Z7 * G6): H0 = (G0 * Z7 + Z8) / Z6
4130 K0 = G0 * P0 + H0 * U0 + Z0: L0 = -(W0 + G0 * S0 + H0 * R0 + K0 * N0)
4140 PRINT #1, "КОЭФФИЦИЕНТЫ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ": RETURN
4290 FOR J = 1 TO X: I(J) = F(J) ^ J1 + V1
4300 K(J) = F(J) ^ O1 + U1 * F(J) ^ J1 + Q1
4310 L(J) = F(J) ^ P1 + I1 * F(J) ^ O1 + M1 * F(J) ^ J1 + F1
4320 M(J) = F(J) ^ T1 + G1 * F(J) ^ P1 + H1 * F(J) ^ O1 + K1 * F(J) ^ J1 + L1
4330 NEXT J: RETURN
4340 FOR J = 1 TO X: P(J) = H(J) ^ J2 + V2
4350 Q(J) = H(J) ^ O2 + U2 * H(J) ^ J2 + Q2
4360 U(J) = H(J) ^ P2 + I2 * H(J) ^ O2 + M2 * H(J) ^ J2 + F2
4370 V(J) = H(J) ^ T2 + G2 * H(J) ^ P2 + H2 * H(J) ^ O2 + K2 * H(J) ^ J2 + L2
4380 NEXT J: RETURN
4420 FOR J = 1 TO X
4430 Z(J) = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J) + B(4) * L(J) + B(5) * M(J)
4440 NEXT J: RETURN
4690 FOR J = 1 TO X: N3 = B(1) + B(2) * I(J) + B(3) * K(J) + B(4) * P(J)
4700 N4 = B(5) * I(J) * P(J) + B(6) * Q(J) + B(7) * I(J) * Q(J) + B(8) * P(J) * K(J)
4710 N5 = B(9) * K(J) * Q(J) + B(10) * U(J) + B(11) * I(J) * U(J)
4720 N6 = B(12) * K(J) * U(J) + B(13) * V(J) + B(14) * I(J) * V(J) + B(15) * K(J) * V(J)
4730 N7 = B(16) * L(J) + B(17) * P(J) * L(J) + B(18) * Q(J) * L(J) + B(19) * L(J) * U(J)
4740 R3 = B(20) * L(J) * V(J) + B(21) * M(J) + B(22) * P(J) * M(J)
4750 R4 = B(23) * Q(J) * M(J) + B(24) * U(J) * M(J) + B(25) * M(J) * V(J)
4760 Z(J) = N3 + N4 + N5 + N6 + N7 + R3 + R4: NEXT J: RETURN
4880 PRINT #1, "МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ"
4902 IF X = 5 GOTO 6100
4907 IF X = 25 GOTO 6480
6100 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*K(J)+"
6110 PRINT #1, "+"; B(4); "*L(J)+"; B(5); "*M(J),"
6120 IF X = 5 GOTO 6600
6480 PRINT #1, "Z(J)="; B(1); "+"; B(2); "*I(J)+"; B(3); "*K(J)+"
6490 PRINT #1, "+"; B(4); "*P(J)+"; B(5); "*I(J)*P(J)+"
6500 PRINT #1, "+"; B(6); "*Q(J)+"; B(7); "*I(J)*Q(J)+"
6510 PRINT #1, "+"; B(8); "*P(J)*Q(J)+"; B(9); "*K(J)*Q(J)+"
6520 PRINT #1, "+"; B(10); "*U(J)+"; B(11); "*I(J)*U(J)+"
6530 PRINT #1, "+"; B(12); "*K(J)*U(J)+"; B(13); "*V(J)+"
6540 PRINT #1, "+"; B(14); "*I(J)*V(J)+"; B(15); "*I(J)*V(J)+"
```

```
6550 PRINT #1, "+"; B(16); "*L(J)+"; B(17); "*P(J)*L(J)+"
6560 PRINT #1, "+"; B(18); "*Q(J)*L(J)+"; B(19); "*L(J)*U(J)+"
6570 PRINT #1, "+"; B(20); "*L(J)*V(J)+"; B(21); "*M(J)+"
6580 PRINT #1, "+"; B(22); "*P(J)*M(J)+"; B(23); "*Q(J)*M(J)+"
6590 PRINT #1, "+"; B(24); "*U(J)*M(J)+"; B(25); "*M(J)*V(J),"
6600 PRINT #1, "ГДЕ"
6610 PRINT #1, "I(J)=F(J)^"; J1; "+"; V1; ";"
6620 PRINT #1, "K(J)=F(J)^"; O1; "+"; U1; "*F(J)^"; J1; "+"; Q1
6621 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J)- 1-й ФАКТОР "
6650 PRINT #1, "L(J)=F(J)^"; P1; "+"; I1; "*F(J)^"; O1; "+"
6660 PRINT #1, "+"; M1; "F(J)^"; J1; "+"; F1
6661 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J)- 1-й ФАКТОР "
6680 PRINT #1, "M(J)=F(J)^"; T1; "+"; G1; "*F(J)^"; P1; "+"
6690 PRINT #1, "+"; H1; "*F(J)^"; O1; "+"; K1; "*F(J)^"; I1; "+"; L1
6691 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J)- 1-й ФАКТОР "
6700 IF X = 5 GOTO 6790
6710 PRINT #1, "P(J)=H(J)^"; J2; "+"; V2; ";"
6720 PRINT #1, "Q(J)=H(J)^"; O2; "+"; U2; "*H(J)^"; J2; "+"; Q2; ";"
6730 PRINT #1, "U(J)=H(J)^"; P2; "+"; I2; "*H(J)^"; O2; "+"
6740 PRINT #1, "+"; M2; "*H(J)^"; J2; "+"; F2
6741 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: H(J)- 2-й ФАКТОР"
6760 PRINT #1, "V(J)=H(J)^"; T2; "+"; G2; "*H(J)^"; P2; "+"
6770 PRINT #1, "+"; H2; "*H(J)^"; O2; "+"; K2; "*H(J)^"; J2; "+"
6780 PRINT #1, "+"; L2
6781 PRINT #1, "ОБОЗНАЧЕНИЕ: H(J)- 2-й ФАКТОР"
6790 PRINT "IF I0=18 GOTO 2660-ПЕРЕХОДЫ"
6792 PRINT "IF I0=19 GOTO 3190-ПЕРЕХОДЫ "
6793 PRINT "IF I0=35 GOTO 1160-ВВОД НОВЫХ Y(J)"
6795 PRINT "IF I0=44 GOTO 6830-КОНЕЦ"
6796 PRINT "IF I0=50 GOTO   40-НАЧАЛО"
6797 PRINT "IF I0=51 GOTO 3240-ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И "
6798 PRINT "                  РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ"
6799 PRINT "IF I0=52 GOTO 7000-"
6800 PRINT "              ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5) "
6802 PRINT "                 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ "
6803 PRINT "                    И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
6805 PRINT "ВВОД I0": INPUT I0
6810 IF I0 = 18 GOTO 2660
6820 IF I0 = 19 GOTO 3190
6823 IF I0 = 35 GOTO 1160
6825 IF I0 = 44 GOTO 6830
6827 IF I0 = 50 GOTO 40
6828 IF I0 = 51 GOTO 3240
6829 IF I0 = 52 GOTO 7000
6830 CLOSE #1
6832 PRINT "РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ  СМОТРИ В ";
6835 PRINT "ФАЙЛЕ "; FA$
6840 END
7000 PRINT #1, "ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
7004 PRINT #1, " ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ"
7005 PRINT #1, " С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ"
7006 PRINT #1, "И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
7010 PRINT "ВВОД I0=61 GOTO 7195"
7040 PRINT "IF I0=64 GOTO 40-НАЧАЛО"

7050 PRINT "IF I0=65 GOTO 6830-КОНЕЦ"
7060 INPUT I0
7070 IF I0 = 61 GOTO 7195
7100 IF I0 = 64 GOTO 40
7110 IF I0 = 65 GOTO 6830
7195 PRINT "ВВОД I0=75 ПРИ X = 5; ТО = 81 ПРИ X = 25"
7200 INPUT I0
7203 IF I0 = 75 GOTO 7210
```

```
7204 IF I0 = 81 GOTO 7360
7210 F3 = 0: F4 = 0: K5 = 0: PRINT #1, "ФАКТОР F(1)=F3+F4"
7213 PRINT "ФАКТОР F(1)=F3+F4"
7215 FOR J = 1 TO X: F(J) = 0: Z(J) = 0: NEXT J: X = 0
7220 PRINT #1, "F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ ФАКТОРА"
7225 PRINT "F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ ФАКТОРА"
7226 PRINT #1, "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ ФАКТОРА"
7227 PRINT "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ ФАКТОРА"
7230 PRINT "ВВОД ПРИНЯТЫХ ВЕЛИЧИН X,F3,F4"
7240 INPUT X, F3, F4: PRINT #1, "X="; X; "F3="; F3; "F4="; F4
7250 FOR K5 = 1 TO X: F(K5) = F3 + K5 * F4
7255 PRINT #1, "F("; K5; ")="; F(K5)
7310 GOSUB 4290: GOSUB 4420
7320 PRINT #1, "Z("; K5; ")="; Z(K5)
7325 NEXT K5: GOTO 8001
7360 F3 = 0: F4 = 0: H3 = 0: H4 = 0: K5 = 0: PRINT #1, "ФАКТОР F(1)=F3+F4"
7361 PRINT "ФАКТОР F(1)=F3+F4"
7365 FOR J = 1 TO X: F(J) = 0: H(J) = 0: Z(J) = 0: NEXT J: X = 0
7370 PRINT #1, "F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 1-ГО ФАКТОРА"
7371 PRINT "F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 1-ГО ФАКТОРА"
7380 PRINT #1, "ФАКТОР H(1)=H3+H4"
7381 PRINT "ФАКТОР H(1)=H3+H4"
7390 PRINT #1, "H4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 2-ГО ФАКТОРА"
7391 PRINT "H4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ 2-ГО ФАКТОРА"
7392 PRINT #1, "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ 1, 2-ГО ФАКТОРОВ"
7393 PRINT "X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ 1, 2-ГО ФАКТОРОВ"
7400 PRINT "ВВОД ПРИНЯТЫХ ВЕЛИЧИН X,F3,F4,H3,H4"
7410 INPUT X, F3, F4, H3, H4: PRINT #1, "X="; X; "F3="; F3; "F4="; F4
7420 PRINT #1, "H3="; H3; "H4="; H4
7430 FOR K5 = 1 TO X: F(K5) = F3 + K5 * F4
7435 PRINT #1, "F("; K5; ")= "; F(K5)
7440 H(K5) = H3 + K5 * H4: PRINT #1, "H("; K5; ")= "; H(K5)
7500 IF I0 = 81 GOTO 7560
7560 GOSUB 4290: GOSUB 4340: GOSUB 4690
7570 PRINT #1, "Z("; K5; ")="; Z(K5)
7575 NEXT K5: GOTO 8001
8001 PRINT #1, "ВЫЯВЛЕНИЕ MAX Z(K5) И MIN Z(K5)": K8 = 0: K8 = Z(1)
8002 PRINT "ВВОД I0=90-ПРОДОЛЖЕНИЕ"
8004 INPUT I0
8010 FOR K5 = 1 TO X
8020 IF Z(K5) >= K8 THEN K8 = Z(K5)
8040 NEXT K5: PRINT #1, "MAX Z(K5)="; K8
8041 FOR K5 = 1 TO X
8042 IF Z(K5) = K8 THEN PRINT #1, "MAX Z("; K5; ")="; Z(K5)
8044 NEXT K5
8050 K7 = 0: K7 = Z(1)
8060 FOR K5 = 1 TO X
8070 IF Z(K5) <= K7 THEN K7 = Z(K5)
8090 NEXT K5: PRINT #1, "MIN Z(K5)="; K7
8091 FOR K5 = 1 TO X
8092 IF Z(K5) = K7 THEN PRINT #1, "MIN Z("; K5; ")="; Z(K5)
8094 NEXT K5: K6 = 0: PRINT #1, "MIN Z(K5)=K7, MAX Z(K5)=K8"
8095 PRINT #1, "K6(K5)=(Z(K5)+ABS(K7))/(ABS(K7)+ABS(K8))"
8096 FOR K5 = 1 TO X: K6(K5) = (Z(K5) + ABS(K7)) / (ABS(K7) + ABS(K8))
8097 PRINT #1, "K6("; K5; ")="; K6(K5): NEXT K5
8098 J5 = 0: J5 = ABS(K7) / (ABS(K7) + ABS(K8))
8099 PRINT #1, "J5=ABS(K7)/(ABS(K7)+ABS(K8))"
8111 PRINT #1, "J5="; J5
8112 PRINT "IF I0=70 GOTO 7000-ПОВТОРЕНИЕ ";
8113 PRINT " ВЫЧИСЛЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5) ";
8114 PRINT " И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
8115 PRINT "IF I0=80 GOTO 9000-ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА"
8120 INPUT I0
```

```
8125 IF I0 = 70 GOTO 7000
8130 IF I0 = 80 GOTO 9000
9000 PRINT "X0="; X0; "Y0="; Y0; "K0="; K0; "K3="; K3
9001 K0 = 0: K3 = 0: K4 = 0: K4 = X: K7 = 0: K8 = 0: X0 = 0: Y0 = 0
9010 PRINT #1, "ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА"
9015 PRINT #1, "ЗАВИСИМОСТЬ K6(K5) ОТ ФАКТОРА"
9020 PRINT #1, "K6(K5)-ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ПОКАЗАТЕЛЯ"
9025 PRINT #1, "K5-НОМЕР ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРА И ПОКАЗАТЕЛЯ"
9030 PRINT #1, "ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРОВ ЗАДАНЫ "
9035 PRINT "ВВОД:X0-ОТСТУП ВПРАВО ПО ОСИ X (ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНО X0=20)"
9036 PRINT "     Y0-ОТСТУП ВНИЗ ПО ОСИ  Y (ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНО Y0=180)"
9037 PRINT "     K0-ДЛИНА ГРАФИКА ПО ОСИ X"
9038 PRINT "     K3-ВЫСОТА ГРАФИКА ПО ОСИ Y"
9045 INPUT X0, Y0, K0, K3
9046 PRINT #1, "X0="; X0; "Y0="; Y0; "K0="; K0; "K3="; K3; ", ГДЕ"
9047 PRINT #1, "            X0-ОТСТУП ВПРАВО ПО ОСИ X "
9048 PRINT #1, "            Y0-ОТСТУП ВНИЗ ПО ОСИ  Y "
9049 PRINT #1, "            K0-ДЛИНА ГРАФИКА ПО ОСИ X"
9050 PRINT #1, "            K3-ВЫСОТА ГРАФИКА ПО ОСИ Y"
9054 KEY OFF: CLS
9055 COLOR 0, 0: SCREEN 2
9056 FOR K5 = 1 TO K4: K7(K5) = K5 * K0: K8(K5) = K3 * K6(K5)
9057 LINE (K7(K5) - X0, Y0)-(K7(K5) - X0, Y0 - K8(K5)): NEXT K5
9059 J6 = 0: J6 = X - 1: J7 = 0: J8 = 0: J9 = 0: K7 = 0: K8 = 0: J9 = K3 * J5
9060 FOR K5 = 1 TO J6: K7(K5) = K5 * K0: K8(K5) = K3 * K6(K5)
9061 J7(K5) = (K5 + 1) * K0: J8(K5) = K3 * K6(K5 + 1)
9062 LINE (K7(K5) - X0, Y0)-(J7(K5) - X0, Y0)
9063 LINE (K7(K5) - X0, Y0 - J9)-(J7(K5) - X0, Y0 - J9)
9065 LINE (K7(K5) - X0, Y0 - K8(K5))-(J7(K5) - X0, Y0 - J8(K5)): NEXT K5
9071 A$ = ""
9072 A$ = INKEY$: IF A$ = "" THEN 9072
9073 SCREEN 0: CLS : COLOR 2, 0
9074 PRINT "ВВОД I0=75 GOTO 9000-ПОВТОРЕНИЕ ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИКА"

9075 PRINT "ВВОД I0=85 GOTO 7000-ПОВТОРЕНИЕ"
9076 PRINT "                ВЫЧИСЛЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)"
9078 PRINT "                С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ "
9079 PRINT "                И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ"
9080 PRINT "ВВОД I0=95 GOTO 6830-КОНЕЦ": PRINT
9081 INPUT I0
9083 IF I0 = 75 GOTO 9000
9090 IF I0 = 85 GOTO 7000
9095 IF I0 = 95 GOTO 6830
11580  PRINT #1, "1.1."; "A1="; A1; "Z(1)="; Z(1); "Z1(1)="; Z1(1)
11590  PRINT #1, "1.2."; "C1="; C1; "Z(3)="; Z(3); "Z1(3)="; Z1(3)
11600  PRINT #1, "1.3."; "E1="; E1; "Z(5)="; Z(5); "Z1(5)="; Z1(5)
11610  PRINT #1, "1.4."; "D1="; D1; "Z(4)="; Z(4); "Z1(4)="; Z1(4)
11620  PRINT #1, "1.5."; "B1="; B1; "Z(2)="; Z(2); "Z1(2)="; Z1(2)
11630 RETURN
11640  PRINT #1, "1.1."; "A2="; A2; "A1="; A1; "Z(1)="; Z(1); "Z1(1)="; Z1(1)
11650  PRINT #1, "1.2."; "A2="; A2; "C1="; C1; "Z(16)="; Z(16); "Z1(16)="; Z1(16)
11660  PRINT #1, "1.3."; "A2="; A2; "E1="; E1; "Z(7)="; Z(7); "Z1(7)="; Z1(7)
11670  PRINT #1, "1.4."; "A2="; A2; "D1="; D1; "Z(21)="; Z(21); "Z1(21)="; Z1(21)
11680  PRINT #1, "1.5."; "A2="; A2; "B1="; B1; "Z(2)="; Z(2); "Z1(2)="; Z1(2)
11690  PRINT #1, "2.1."; "C2="; C2; "A1="; A1; "Z(10)="; Z(10); "Z1(10)="; Z1(10)
11700  PRINT #1, "2.2."; "C2="; C2; "C1="; C1; "Z(17)="; Z(17); "Z1(1)="; Z1(17)
11710  PRINT #1, "2.3."; "C2="; C2; "E1="; E1; "Z(14)="; Z(14); "Z1(14)="; Z1(14)
11720  PRINT #1, "2.4."; "C2="; C2; "D1="; D1; "Z(22)="; Z(22); "Z1(22)="; Z1(22)
11730  PRINT #1, "2.5."; "C2="; C2; "B1="; B1; "Z(13)="; Z(13); "Z1(13)="; Z1(13)
11740  PRINT #1, "3.1."; "E2="; E2; "A1="; A1; "Z(5)="; Z(5); "Z1(5)="; Z1(5)
11750  PRINT #1, "3.2."; "E2="; E2; "C1="; C1; "Z(18)="; Z(18); "Z1(18)="; Z1(18)
11760  PRINT #1, "3.3."; "E2="; E2; "E1="; E1; "Z(9)="; Z(9); "Z1(9)="; Z1(9)
11770  PRINT #1, "3.4."; "E2="; E2; "D1="; D1; "Z(23)="; Z(23); "Z1(23)="; Z1(23)
```

```
11780  PRINT #1, "3.5."; "E2="; E2; "B1="; B1; "Z(6)="; Z(6); "Z1(6)="; Z1(6)
11790  PRINT #1, "4.1."; "D2="; D2; "A1="; A1; "Z(12)="; Z(12); "Z1(12)="; Z1(12)
11800  PRINT #1, "4.2."; "D2="; D2; "C1="; C1; "Z(19)="; Z(19); "Z1(19)="; Z1(19)
11810  PRINT #1, "4.3."; "D2="; D2; "E1="; E1; "Z(15)="; Z(15); "Z1(15)="; Z1(15)
11820  PRINT #1, "4.4."; "D2="; D2; "D1="; D1; "Z(24)="; Z(24); "Z1(24)="; Z1(24)
11830  PRINT #1, "4.5."; "D2="; D2; "B1="; B1; "Z(11)="; Z(11); "Z1(11)="; Z1(11)
11840  PRINT #1, "5.1."; "B2="; B2; "A1="; A1; "Z(3)="; Z(3); "Z1(3)="; Z1(3)
11850  PRINT #1, "5.2."; "B2="; B2; "C1="; C1; "Z(20)="; Z(20); "Z1(20)="; Z1(20)
11860  PRINT #1, "5.3."; "B2="; B2; "E1="; E1; "Z(8)="; Z(8); "Z1(8)="; Z1(8)
11870  PRINT #1, "5.4."; "B2="; B2; "D1="; D1; "Z(25)="; Z(25); "Z1(25)="; Z1(25)
11880  PRINT #1, "5.5."; "B2="; B2; "B1="; B1; "Z(4)="; Z(4); "Z1(4)="; Z1(4)
11890  PRINT #1, "6.1."; "A1="; A1; "A2="; A2; "Z(1)="; Z(1); "Z1(1)="; Z1(1)
11900  PRINT #1, "6.2."; "A1="; A1; "C2="; C2; "Z(10)="; Z(10); "Z1(10)="; Z1(10)
11910  PRINT #1, "6.3."; "A1="; A1; "E2="; E2; "Z(5)="; Z(5); "Z1(5)="; Z1(5)
11920  PRINT #1, "6.4."; "A1="; A1; "D2="; D2; "Z(12)="; Z(12); "Z1(12)="; Z1(12)
11930  PRINT #1, "6.5."; "A1="; A1; "B2="; B2; "Z(3)="; Z(3); "Z1(3)="; Z1(3)
11940  PRINT #1, "7.1."; "C1="; C1; "A2="; A2; "Z(16)="; Z(16); "Z1(16)="; Z1(16)
11950  PRINT #1, "7.2."; "C1="; C1; "C2="; C2; "Z(17)="; Z(17); "Z1(17)="; Z1(17)
11960  PRINT #1, "7.3."; "C1="; C1; "E2="; E2; "Z(18)="; Z(18); "Z1(18)="; Z1(18)
11970  PRINT #1, "7.4."; "C1="; C1; "D2="; D2; "Z(19)="; Z(19); "Z1(19)="; Z1(19)
11980  PRINT #1, "7.5."; "C1="; C1; "B2="; B2; "Z(20)="; Z(20); "Z1(20)="; Z1(20)
11990  PRINT #1, "8.1."; "E1="; E1; "A2="; A2; "Z(7)="; Z(7); "Z1(7)="; Z1(7)
12000  PRINT #1, "8.2."; "E1="; E1; "C2="; C2; "Z(14)="; Z(14); "Z1(14)="; Z1(14)
12010  PRINT #1, "8.3."; "E1="; E1; "E2="; E2; "Z(9)="; Z(9); "Z1(9)="; Z1(9)
12020  PRINT #1, "8.4."; "E1="; E1; "D2="; D2; "Z(15)="; Z(15); "Z1(15)="; Z1(15)
12030  PRINT #1, "8.5."; "E1="; E1; "B2="; B2; "Z(8)="; Z(8); "Z1(8)="; Z1(8)
12040  PRINT #1, "9.1."; "D1="; D1; "A2="; A2; "Z(21)="; Z(21); "Z1(21)="; Z1(21)
12050  PRINT #1, "9.2."; "D1="; D1; "C2="; C2; "Z(22)="; Z(22); "Z1(22)="; Z1(22)
12060  PRINT #1, "9.3."; "D1="; D1; "E2="; E2; "Z(23)="; Z(23); "Z1(23)="; Z1(23)
12070  PRINT #1, "9.4."; "D1="; D1; "D2="; D2; "Z(24)="; Z(24); "Z1(24)="; Z1(24)
12080  PRINT #1, "9.5."; "D1="; D1; "B2="; B2; "Z(25)="; Z(25); "Z1(25)="; Z1(25)
12090  PRINT #1, "10.1."; "B1="; B1; "A2="; A2; "Z(2)="; Z(2); "Z1(2)="; Z1(2)
12100  PRINT #1, "10.2."; "B1="; B1; "C2="; C2; "Z(13)="; Z(13); "Z1(13)="; Z1(13)
12110  PRINT #1, "10.3."; "B1="; B1; "E2="; E2; "Z(6)="; Z(6); "Z1(6)="; Z1(6)
12120  PRINT #1, "10.4."; "B1="; B1; "D2="; D2; "Z(11)="; Z(11); "Z1(11)="; Z1(11)
12130  PRINT #1, "10.5."; "B1="; B1; "B2="; B2; "Z(4)="; Z(4); "Z1(4)="; Z1(4)
12140 RETURN
```

ПРОГРАММА NW5 НА ЯЗЫКЕ ТУРБО ПАСКАЛЬ
(три модуля tpg3, _X=5_, _X=25_, «система» после «адекватно»)

```
program tpg3_1;
 {Математическое моделирование}
 uses tpg3_3, tpg3_2;
  label 1,2,3,4,5;
procedure VV_DAN;
  begin
    case X of
    5: begin
         VVOD51;
         GB3860(A1,B1,C1,D1,E1,J1,O1,P1,T1,V1,U1,
         Q1,I1,M1,F1,G1,H1,K1,L1);
         writeln('Коэффициенты ортогонализации');
```

```
        writeln(F0,'Коэффициенты ортогонализации');
        writeln('V1=',V1,' U1=',U1,' Q1=',Q1);
        writeln('I1=',I1,' M1=',M1,' F1=',F1);
        writeln('G1=',G1,' H1=',H1,' K1=',K1);
        writeln('L1=',L1);
        writeln(F0,'V1=',V1,' U1=',U1,' Q1=',Q1);
        writeln(F0,'I1=',I1,' M1=',M1,' F1=',F1);
        writeln(F0,'G1=',G1,' H1=',H1,' K1=',K1);
        writeln(F0,'L1=',L1);
      end;
    25:begin
        VVOD51;
        GB3860(A1,B1,C1,D1,E1,J1,O1,P1,T1,V1,U1,
        Q1,I1,M1,F1,G1,H1,K1,L1);
        writeln('Коэффициенты ортогонализации');
        writeln(F0,'Коэффициенты ортогонализации');
        writeln('V1=',V1,' U1=',U1,' Q1=',Q1);
        writeln('I1=',I1,' M1=',M1,' F1=',F1);
        writeln('G1=',G1,' H1=',H1,' K1=',K1);
        writeln('L1=',L1);
        writeln(F0,'V1=',V1,' U1=',U1,' Q1=',Q1);
        writeln(F0,'I1=',I1,' M1=',M1,' F1=',F1);
        writeln(F0,'G1=',G1,' H1=',H1,' K1=',K1);
        writeln(F0,'L1=',L1);
        VVOD52;
        GB3860(A2,C2,E2,D2,B2,J2,O2,P2,T2,V2,U2,
        Q2,I2,M2,F2,G2,H2,K2,L2);
        writeln('Коэффициенты ортогонализации');
        writeln(F0,'Коэффициенты ортогонализации');
        writeln('V2=',V2,' U2=',U2,' Q2=',Q2);
        writeln('I2=',I2,' M2=',M2,' F2=',F2);
        writeln('G2=',G2,' H2=',H2,' K2=',K2);
        writeln('L2=',L2);
        writeln(F0,'V2=',V2,' U2=',U2,' Q2=',Q2);
        writeln(F0,'I2=',I2,' M2=',M2,' F2=',F2);
        writeln(F0,'G2=',G2,' H2=',H2,' K2=',K2);
        writeln(F0,'L2=',L2);
      end;
    end;{case}
  end;{VV_DAN}
procedure OUT_Z_B;
  begin
  writeln('Расчетные показатели Z(J) до анализа B(J)');
  writeln(F0,'Расчетные показатели Z(J) до анализа B(J)');
  writeln(F0,'┌──────────────────────────────────────────┐');
  writeln(F0,'│    │          Значение          │');
  writeln(F0,'│ J  ├──────────────────────────────────────┤');
  writeln(F0,'│    │   Y(J)   │   Z(J)   │ Y(J)-Z(J)│');
  for J:=1 to X do
      begin
        writeln(F0,'├──────┼──────────┼──────────┼──────────┤');
        write(F0,'│ ',J:2,' │',Y[J]:10,'│',Z[J]:10,'│');
```

```
        writeln(F0,(Y[J]-Z[J]):10,'│');
        write('│ ',J:2,' │',Y[J]:10,'│',Z[J]:10,'│');
        writeln((Y[J]-Z[J]):10,'│');
       end;
        writeln(F0,'└──────┴──────────────┴──────────────┴──────────────┘');
 end;
{=================================================================
                Основная программа
=================================================================}
 begin
 1: for J:=1 to 25 do writeln;
   writeln('     Программа на языке Турбо-Паскаль состоит из трех');
   writeln(' файлов tpg3_1,tpg3_2,tpg3_3(nw5_1,nw5_2,nw5-3). Математическое');
   writeln('моделирование на основе планирования экспериментов.');
   writeln('        Переложение с языка Бейсик программы GGN3.');
   writeln('              Разработка Черного А.А.');
   writeln('          Autor Chernyy Anatoly Alekseevech');
   writeln('Введите имя файла для вывода resultant (без расширения)');
   readln(NAME);
   Assign(F0, (NAME+'.dat'));
   Rewrite(F0);
   writeln(F0,'Выполнение программы математического моделирования');
   writeln(F0,'    tpg3_1(nw5_1). (Программа на языке Турбо-Паскаль).');
   writeln(F0,'       Autor Chernyy Anatoly Alekseevech');
   writeln('_X=5_,_X=25_');
   J:=0;X:=0;F3:=0;F4:=0;H3:=0;H4:=0;
   L3:=0;L4:=0;K3:=0;K4:=0;K5:=0;
   K7:=0;K8:=0;K0:=0;X0:=0;Y0:=0;J5:=0;
   J6:=0;J9:=0;S:=0;
   writeln('Если X=0, то выход из программы');
   write('X=');readln(X);
   writeln(F0,'X=',X);
   for J:=1 to X do
     begin
       F[J]:=0; H[J]:=0; L[J]:=0; Z[J]:=0; KK5[J]:=0;
       KK6[J]:=0; KK7[J]:=0; J7[J]:=0; J8[J]:=0;
       JJ9[J]:=0;
     end;
  VV_DAN;
  if X=0 then goto 2;
  PR_MOD;
3:writeln('----------<Меню 1>-----------');
  writeln('Если I0=6, то переход в начало');
  writeln('Если I0=7, то продолжение и');
  writeln('ввод величин показателей Y(J)');
  write('I0='); readln(I0);
  if I0=6 then goto 1;
  writeln('Ввод величин показателей Y(J)');
  writeln(F0,'Показатели Y(J)');
  for J:=1 to X do
    begin
      write('Y(',J,')=');
```

```
      readln(Y[J]);
      writeln(F0,'Y(',J,')=',Y[J]);
    end;
  case X of
    5: GB4290;
    25:begin
         GB4290; GB4340;
       end;
    end;{case}
  GB1410;
  case X of
    5: begin GB2000; GB2020; end;
    25:begin GB1480; GB1600; GB1670; GB1730; GB1830; end;
  end;
  writeln('B(J) до анализа');
  writeln(F0,'B(J) до анализа');
  for J:=1 to X do
    begin
      writeln('B(',J,')=',B[J]);
      writeln(F0,'B(',J,')=',B[J]);
    end;
  case X of
    5: GB4420;
    25:GB4690;
    else goto 2;
  end;
  OUT_Z_B;
4:writeln('-----------------<Меню 2>--------------------');
  writeln('Если I0=3, то ввод результатов опытов');
  writeln('на среднем уровне факторов');
  writeln('Если I0=4, то ввод дисперсии опытов');
  writeln('Если I0=5, то проверка точности и расчеты по модели');
  writeln('Если I0=6, то переход в начало программы');
  writeln('Если I0=20, то переход в конец программы');
  writeln('Если I0=25, то вывод математической модели');
  writeln('Если I0=27, то вычисление показателей Z(K5)');
  writeln('с использованием циклов');
  writeln('Если I0=30, то переход к меню 1');
  write('Ввод I0=');
  readln(I0);
  if I0=6 then goto 1;
  if I0=20 then goto 2;
  if I0=30 then goto 3;
  if I0=25 then begin GB4880; goto 2; end;
  if I0=27 then begin GB7000; goto 2; end;
  if (I0=3)or(I0=4) then
    begin
      writeln('Ввод N0-количество опытов на среднем уровне факторов');
      readln(N0);
      writeln(F0,'Количество опытов на среднем уровне факторов N0=',N0);
      writeln('Ввод F8=N0-1');
      readln(F8);
```

```
   writeln(F0,'F8=N0-1=',F8);
  end;
if I0=3 then
  begin
   writeln('Ввод G(J)-результаты опытов');
   writeln('на среднем уровне факторов');
   writeln(F0,'G(J)-результаты опытов');
   writeln(F0,'на среднем уровне факторов');
   for J:=1 to N0 do
    begin
     write('G(',J,')=');
     readln(G[J]);
     writeln(F0,'G(',J,')=',G[J]);
    end;
   SS:=0;
   for J:=1 to N0 do SS:=SS+G[J];
   S0:=SS/N0;
   writeln('S0=',S0); SS:=0;
   for J:=1 to N0 do SS:=SS+(G[J]-S0)*(G[J]-S0);
   U9:=SS/F8;
   writeln('Дисперсия опытов U9=',U9);
   writeln(F0,'Дисперсия опытов U9=',U9);
  end;
if I0=4 then
  begin
   writeln('Ввод U9-дисперсия опытов');
   readln(U9);
   writeln(F0,'Дисперсия опытов U9=',U9);
  end;
if not(I0=5) then
 begin
  writeln('Расчетные величины T(J)');
  writeln(F0,'Расчетные величины T(J)');
  for J:=1 to X do
   begin
    T[J]:=abs(B[J]/sqrt(U9/O[J]));
    writeln('T(',J,')=',T[J]);
    writeln(F0,'T(',J,')=',T[J]);
   end;
  writeln('┌──────────────────────────────────────────────────────────┐');
  writeln('│   Для уровня значимости 5%       │');
  writeln('├──────┬──────┬──────┬──────┬──────┬──────┤');
  writeln('│ F8 │  2   │  3   │  4   │  5   │  6   │');
  writeln('├──────┼──────┼──────┼──────┼──────┼──────┤');
  writeln('│ T0 │4,303 │3,182 │2.776 │2,571 │2,447 │');
  writeln('└──────┴──────┴──────┴──────┴──────┴──────┘');
  writeln('F8=N0-1=',N0,'-1=',F8:1);
  writeln('Ввод T0-табличного T-критерия');
  readln(T0);
  writeln(F0,'Табличный T-критерий T0=',T0:5:3);
  writeln('B(J) после анализа');
  writeln(F0,'B(J) после анализа');
```

```
for J:=1 to X do
  begin
    if T[J]<T0 then B[J]:=0;
    writeln('B(',J,')=',B[J]);
    writeln(F0,'B(',J,')=',B[J]);
  end;
K9:=0;
for J:=1 to X do
  begin
    if B[J]=0 then K9:=K9+1;
  end;
writeln('Количество статистически значимых');
writeln('коэффициентов регрессии');
writeln('K9=',K9);
writeln('F9=X-1');
F9:=X-1;
writeln('F9=',F9);
writeln(F0,'Количество статистически значимых');
writeln(F0,'коэффициентов регрессии');
writeln(F0,'K9=',K9);
writeln(F0,'F9=X-1');
F9:=X-1;
writeln(F0,'F9=',F9);
tablF9;
writeln('F8=',F8:2,' F9=',F9:2);
writeln('Ввод F7-табличного F-критерия');
readln(F7);
writeln(F0,'Табличный F-критерий F7=',F7);
case X of
  5: GB4420;
  25:GB4690;
  else goto 2;
end;
writeln('Расчетные величины показателя');
writeln('Z(J) после анализа B(J)');
writeln(F0,'Расчетные величины показателя');
writeln(F0,'Z(J) после анализа B(J)');
for J:=1 to X do
  begin
    writeln('Z(',J,')=',Z[J]);
    writeln(F0,'Z(',J,')=',Z[J]);
  end;
SS:=0;
for J:=1 to X do
  SS:=SS+(Z[J]-Y[J])*(Z[J]-Y[J]);
  F6:=SS/(F9*U9);
  writeln('Расчетная величина F-критерия F6=',F6);
  writeln(F0,'Расчетная величина F-критерия F6=',F6);
  if F6<=F7 then
    begin
      writeln('Адекватно, так как F6<=F7');
      writeln(F0,'Адекватно, так как F6<=F7');
```

```
  end;
if F6>F7 then
  begin
    writeln('Неадекватно, так как F6>F7');
    writeln(F0,'Неадекватно, так как F6>F7');
  end;
if X=25 then
  begin
    writeln(F0,'X=25. System, 1.1 - 10.5, finish 10.5.');
    writeln(F0,'1.1.','A2=',A2,'A1=',A1,'Z(1)=',Z[1]);
    writeln(F0,'1.2.','A2=',A2,'C1=',C1,'Z(16)=',Z[16]);
    writeln(F0,'1.3.','A2=',A2,'E1=',E1,'Z(7)=',Z[7]);
    writeln(F0,'1.4.','A2=',A2,'D1=',D1,'Z(21)=',Z[21]);
    writeln(F0,'1.5.','A2=',A2,'B1=',B1,'Z(2)=',Z[2]);
    writeln(F0,'2.1.','C2=',C2,'A1=',A1,'Z(10)=',Z[10]);
    writeln(F0,'2.2.','C2=',C2,'C1=',C1,'Z(17)=',Z[17]);
    writeln(F0,'2.3.','C2=',C2,'E1=',E1,'Z(14)=',Z[14]);
    writeln(F0,'2.4.','C2=',C2,'D1=',D1,'Z(22)=',Z[22]);
    writeln(F0,'2.5.','C2=',C2,'B1=',B1,'Z(13)=',Z[13]);
    writeln(F0,'3.1.','E2=',E2,'A1=',A1,'Z(5)=',Z[5]);
    writeln(F0,'3.2.','E2=',E2,'C1=',C1,'Z(18)=',Z[18]);
    writeln(F0,'3.3.','E2=',E2,'E1=',E1,'Z(9)=',Z[9]);
    writeln(F0,'3.4.','E2=',E2,'D1=',D1,'Z(23)=',Z[23]);
    writeln(F0,'3.5.','E2=',E2,'B1=',B1,'Z(6)=',Z[6]);
    writeln(F0,'4.1.','D2=',D2,'A1=',A1,'Z(12)=',Z[12]);
    writeln(F0,'4.2.','D2=',D2,'C1=',C1,'Z(19)=',Z[19]);
    writeln(F0,'4.3.','D2=',D2,'E1=',E1,'Z(15)=',Z[15]);
    writeln(F0,'4.4.','D2=',D2,'D1=',D1,'Z(24)=',Z[24]);
    writeln(F0,'4.5.','D2=',D2,'B1=',B1,'Z(11)=',Z[11]);
    writeln(F0,'5.1.','B2=',B2,'A1=',A1,'Z(3)=',Z[3]);
    writeln(F0,'5.2.','B2=',B2,'C1=',C1,'Z(20)=',Z[20]);
    writeln(F0,'5.3.','B2=',B2,'E1=',E1,'Z(8)=',Z[8]);
    writeln(F0,'5.4.','B2=',B2,'D1=',D1,'Z(25)=',Z[25]);
    writeln(F0,'5.5.','B2=',B2,'B1=',B1,'Z(4)=',Z[4]);
    writeln(F0,'6.1.','A1=',A1,'A2=',A2,'Z(1)=',Z[1]);
    writeln(F0,'6.2.','A1=',A1,'C2=',C2,'Z(10)=',Z[10]);
    writeln(F0,'6.3.','A1=',A1,'E2=',E2,'Z(5)=',Z[5]);
    writeln(F0,'6.4.','A1=',A1,'D2=',D2,'Z(12)=',Z[12]);
    writeln(F0,'6.5.','A1=',A1,'B2=',B2,'Z(3)=',Z[3]);
    writeln(F0,'7.1.','C1=',C1,'A2=',A2,'Z(16)=',Z[16]);
    writeln(F0,'7.2.','C1=',C1,'C2=',C2,'Z(17)=',Z[17]);
    writeln(F0,'7.3.','C1=',C1,'E2=',E2,'Z(18)=',Z[18]);
    writeln(F0,'7.4.','C1=',C1,'D2=',D2,'Z(19)=',Z[19]);
    writeln(F0,'7.5.','C1=',C1,'B2=',B2,'Z(20)=',Z[20]);
    writeln(F0,'8.1.','E1=',E1,'A2=',A2,'Z(7)=',Z[7]);
    writeln(F0,'8.2.','E1=',E1,'C2=',C2,'Z(14)=',Z[14]);
    writeln(F0,'8.3.','E1=',E1,'E2=',E2,'Z(9)=',Z[9]);
    writeln(F0,'8.4.','E1=',E1,'D2=',D2,'Z(15)=',Z[15]);
    writeln(F0,'8.5.','E1=',E1,'B2=',B2,'Z(8)=',Z[8]);
    writeln(F0,'9.1.','D1=',D1,'A2=',A2,'Z(21)=',Z[21]);
    writeln(F0,'9.2.','D1=',D1,'C2=',C2,'Z(22)=',Z[22]);
    writeln(F0,'9.3.','D1=',D1,'E2=',E2,'Z(23)=',Z[23]);
```

```
      writeln(F0,'9.4.','D1=',D1,'D2=',D2,'Z(24)=',Z[24]);
      writeln(F0,'9.5.','D1=',D1,'B2=',B2,'Z(25)=',Z[25]);
      writeln(F0,'10.1.','B1=',B1,'A2=',A2,'Z(2)=',Z[2]);
      writeln(F0,'10.2.','B1=',B1,'C2=',C2,'Z(13)=',Z[13]);
      writeln(F0,'10.3.','B1=',B1,'E2=',E2,'Z(6)=',Z[6]);
      writeln(F0,'10.4.','B1=',B1,'D2=',D2,'Z(11)=',Z[11]);
      writeln(F0,'10.5.','B1=',B1,'B2=',B2,'Z(4)=',Z[4]);
    end;
  if X=5 then
    begin
      writeln(F0,'X=5. System, 1.1 - 1.5, finish 1.5.');
      writeln(F0,'1.1.','A1=',A1,'Z(1)=',Z[1]);
      writeln(F0,'1.2.','C1=',C1,'Z(3)=',Z[3]);
      writeln(F0,'1.3.','E1=',E1,'Z(5)=',Z[5]);
      writeln(F0,'1.4.','D1=',D1,'Z(4)=',Z[4]);
      writeln(F0,'1.5.','B1=',B1,'Z(2)=',Z[2]);
    end;
  case X of
    5: OUT_F_H_L(73);
    25:OUT_F_H_L(74);
  end;
5:writeln('----------<Меню 3--------------');
  writeln('Если I0=7, то проверка точности');
  writeln('и расчеты по модели');
  writeln('Если I0=8, то переход в начало');
  writeln('Если I0=17, то математическая модель');
  writeln('Если I0=22, то вычисления');
  writeln('показателей Z(K5) с использованием');
  writeln('циклов');
  writeln('Если I0=9, то выход из программы');
  writeln('Если I0=25, то переход к меню 1');
  writeln('Если I0=27, то переход к меню 2');
  write('Ввод I0=');
  readln(I0);
  if I0=8 then goto 1;
  if I0=9 then goto 2;
  if I0=25 then goto 3;
  if I0=27 then goto 4;
  if I0=17 then begin GB4880; goto 2; end;
  if I0=22 then begin GB7000; goto 2; end;
writeln('Проверка точности и расчеты по модели');
writeln('F(S), H(S), L(S) - 1,2,3 факторы');
writeln('где S=X=',X,'-количество опытов по плану');
writeln('расчеты по модели');
writeln(F0,'Проверка точности и расчеты по модели');
writeln(F0,'F(S), H(S), L(S) - 1,2,3 факторы');
writeln(F0,'где S=X=',X,'-количество опытов по плану');
writeln(F0,'расчеты по модели');
if (X=5) then
  begin
    for S:=1 to X do
      begin
```

```
        F[S]:=0; Z[S]:=0;
        writeln('Ввод F(',S,')');
        readln(F[S]);
        case X of
        5: begin
            GB4290; GB4420;
          end;
          else goto 2;
        end;{case}
        writeln('Z(',S,')=',Z[S]);
      end;{for}
    OUT_F_H_L(73);
  end;{if}
 if (X=16) then
  begin
   for S:=1 to X do
    begin
     F[S]:=0; Z[S]:=0; H[S]:=0;
     writeln('Ввод F(',S,')',' H(',S,')');
     readln(F[S],H[S]);
     case X of
     25:begin
         GB4290; GB4340; GB4690;
       end;
       else goto 2;
     end;{case}
     writeln('Z(',S,')=',Z[S]);
    end;{for}
   OUT_F_H_L(74);
  end;{if}
2:writeln('----------------<Меню 4------------------');
 writeln('Если I0=10, то проверка точности');
 writeln('и расчеты по модели');
 writeln('Если I0=14, то вычисления ');
 writeln('показателей Z(K5) с использованием');
 writeln('циклов');
 writeln('Если I0=35, то переход к меню 1');
 writeln('Если I0=18, то переход к меню 2');
 writeln('Если I0=19, то переход к меню 3');
 writeln('Если I0=50, то переход в начало программы');
 writeln('Если I0=44, то выход из программы');
 write('Ввод I0=');
 readln(I0);
 if I0=11 then goto 1;
 if I0=18 then goto 4;
 if (I0=19)or(I0=10) then goto 5;
 if I0=35 then goto 3;
 if I0=14 then
  begin
   GB7000;
   goto 2;
  end;
```

```
    writeln('Конец работы');
    close(F0);
end.{Конец программы}

unit TPG3_2;
Interface
  type artp=array[1..50] of real;
  var
    J6,K5,S,J,I0,X,N0,K9,K4,F8,F9:integer;
    G1,T1,A1,C1,E1,D1,B1,J1,O1,A2,E2,B2,J2,O2,A3:real;
    H1,K1,L1,F1,M1,I1,P1,E3,B3,J3,O3,V1,U1,Q1,V2,U2,Q2:real;
    P2,F2,I2,H2,M2,N3,N4,N5,N6,N7,R3,R4,R0,R5,R6:real;
    S0,J5,S1,V3,U3,Q3,U9,F7,SO,F6:real;
    J9,L3,SS,L4,H4,H3,F3,F4,C2,D2,T2:real;
    T0,G2,K2,L2,K7,K8,X0,Y0,K0,K3:real;
    J7,J8,JJ9,KK5,KK6,KK7,KK8,F,H,V,L,Y,I,K,M,P,Q,U,O,B,Z,G,T:artp;
    NAME:string[8];
    F0: Text;
  procedure GB3860(A,B,C,D,E,N,R,S,W:real;
  var V0,U0,Q0,I0,M0,F0,G0,H0,K0,L0:real); function ste(Q,A:real):real;
  procedure GB1410; procedure GB1480; procedure GB1600;
  procedure GB1670; procedure GB1730; procedure GB1830;
  procedure GB2000; procedure GB2020;
  procedure GB4290;
  procedure GB4340;
  procedure GB4420;
  procedure GB4690;
Implementation
function ste(Q,A:real):real;
{Функция возведения в степень}
  begin
    if A<0 then
       begin
         A:=abs(A);
         if Q=0 then Q:=1E-5;
         ste:=1/exp(A*ln(Q));
       end
      else
       begin
         if Q=0 then Q:=1E-5;
         if A=0 then ste:=1
               else ste:=exp(A*ln(Q));
       end;
  end;{ste}
  procedure GB1410;
    begin
      SS:=0; O[1]:=0;
      for J:=1 to X do
        begin
          SS:=SS+Y[J]; O[1]:=O[1]+1;
        end;
      B[1]:=SS/O[1];
```

```
    SS:=0; O[2]:=0;
    for J:=1 to X do
      begin
        SS:=SS+I[J]*Y[J]; O[2]:=O[2]+I[J]*I[J];
      end;
    B[2]:=SS/O[2];
    SS:=0; O[3]:=0;
    for J:=1 to X do
      begin
        SS:=SS+K[J]*Y[J]; O[3]:=O[3]+K[J]*K[J];
      end;
    B[3]:=SS/O[3];
  end;{GB1410}
procedure GB1480;
  begin
    SS:=0; O[4]:=0;
    for J:=1 to X do
      begin
        SS:=SS+P[J]*Y[J];
        O[4]:=O[4]+P[J]*P[J];
      end;
    B[4]:=SS/O[4]; SS:=0; O[5]:=0;
    for J:=1 to X do
      begin
        SS:=SS+I[J]*P[J]*Y[J];
        O[5]:=O[5]+(I[J]*P[J])*(I[J]*P[J]);
      end;
    B[5]:=SS/O[5]; SS:=0; O[6]:=0;
    for J:=1 to X do
      begin
        SS:=SS+Q[J]*Y[J];
        O[6]:=O[6]+Q[J]*Q[J];
      end;
    B[6]:=SS/O[6]; SS:=0; O[7]:=0;
    for J:=1 to X do
      begin
        SS:=SS+I[J]*Q[J]*Y[J];
        O[7]:=O[7]+(I[J]*Q[J])*(I[J]*Q[J]);
      end;
    B[7]:=SS/O[7]; SS:=0; O[8]:=0;
    for J:=1 to X do
      begin
        SS:=SS+P[J]*K[J]*Y[J];
        O[8]:=O[8]+(P[J]*K[J])*(P[J]*K[J]);
      end;
    B[8]:=SS/O[8]; SS:=0; O[9]:=0;
    for J:=1 to X do
      begin
        SS:=SS+K[J]*Q[J]*Y[J];
        O[9]:=O[9]+(K[J]*Q[J])*(K[J]*Q[J]);
      end;
    B[9]:=SS/O[9];
```

```
  end;{GB1480}
procedure GB1600;
  begin
    SS:=0; O[10]:=0;
    for J:=1 to X do
      begin
        SS:=SS+U[J]*Y[J];
        O[10]:=O[10]+U[J]*U[J];
      end;
    B[10]:=SS/O[10]; SS:=0; O[11]:=0;
    for J:=1 to X do
      begin
        SS:=SS+I[J]*U[J]*Y[J];
        O[11]:=O[11]+(I[J]*U[J])*(I[J]*U[J]);
      end;
    B[11]:=SS/O[11]; SS:=0; O[12]:=0;
    for J:=1 to X do
      begin
        SS:=SS+K[J]*U[J]*Y[J];
        O[12]:=O[12]+K[J]*U[J]*K[J]*U[J];
      end;
    B[12]:=SS/O[12];
  end;{GB1600}
procedure GB1670;
  begin
    SS:=0; O[13]:=0;
    for J:=1 to X do
      begin
        SS:=SS+V[J]*Y[J];
        O[13]:=O[13]+V[J]*V[J];
      end;
    B[13]:=SS/O[13]; SS:=0; O[14]:=0;
    for J:=1 to X do
      begin
        SS:=SS+I[J]*V[J]*Y[J];
        O[14]:=O[14]+I[J]*V[J]*I[J]*V[J];
      end;
    B[14]:=SS/O[14]; SS:=0; O[15]:=0;
    for J:=1 to X do
      begin
        SS:=SS+K[J]*V[J]*Y[J];
        O[15]:=O[15]+K[J]*V[J]*K[J]*V[J];
      end;
    B[15]:=SS/O[15];
  end;{GB1670}
procedure GB1730;
  begin
    SS:=0; O[16]:=0;
    for J:=1 to X do
      begin
        SS:=SS+L[J]*Y[J];
        O[16]:=O[16]+L[J]*L[J];
```

```
    end;
  B[16]:=SS/O[16]; SS:=0; O[17]:=0;
  for J:=1 to X do
    begin
      SS:=SS+P[J]*L[J]*Y[J];
      O[17]:=O[17]+(P[J]*L[J])*(P[J]*L[J]);
    end;
  B[17]:=SS/O[17]; SS:=0; O[18]:=0;
  for J:=1 to X do
    begin
      SS:=SS+Q[J]*L[J]*Y[J];
      O[18]:=O[18]+(Q[J]*L[J])*(Q[J]*L[J]);
    end;
  B[18]:=SS/O[18]; SS:=0; O[19]:=0;
  for J:=1 to X do
    begin
      SS:=SS+L[J]*U[J]*Y[J];
      O[19]:=O[19]+(L[J]*U[J])*(L[J]*U[J]);
    end;
  B[19]:=SS/O[19]; SS:=0; O[20]:=0;
  for J:=1 to X do
    begin
      SS:=SS+L[J]*V[J]*Y[J];
      O[20]:=O[20]+(L[J]*V[J])*(L[J]*V[J]);
    end;
  B[20]:=SS/O[20];
 end;{GB1730}
procedure GB1830;
 begin
  SS:=0; O[21]:=0;
  for J:=1 to X do
    begin
      SS:=SS+M[J]*Y[J];
      O[21]:=O[21]+M[J]*M[J];
    end;
  B[21]:=SS/O[21]; SS:=0; O[22]:=0;
  for J:=1 to X do
    begin
      SS:=SS+P[J]*M[J]*Y[J];
      O[22]:=O[22]+(P[J]*M[J])*(P[J]*M[J]);
    end;
  B[22]:=SS/O[22]; SS:=0; O[23]:=0;
  for J:=1 to X do
    begin
      SS:=SS+Q[J]*M[J]*Y[J];
      O[23]:=O[23]+(Q[J]*M[J])*(Q[J]*M[J]);
    end;
  B[23]:=SS/O[23]; SS:=0; O[24]:=0;
  for J:=1 to X do
    begin
      SS:=SS+U[J]*M[J]*Y[J];
      O[24]:=O[24]+(U[J]*M[J])*(U[J]*M[J]);
```

```
      end;
    B[24]:=SS/O[24]; SS:=0; O[25]:=0;
    for J:=1 to X do
      begin
        SS:=SS+M[J]*V[J]*Y[J];
        O[25]:=O[25]+(M[J]*V[J])*(M[J]*V[J]);
      end;
    B[25]:=SS/O[25];
  end;{GB1830}
procedure GB2000;
  begin
    SS:=0; O[4]:=0;
    for J:=1 to X do
      begin
        SS:=SS+L[J]*Y[J];
        O[4]:=O[4]+L[J]*L[J];
      end;
    B[4]:=SS/O[4];
  end;{GB2000}
procedure GB2020;
  begin
    SS:=0; O[5]:=0;
    for J:=1 to X do
      begin
        SS:=SS+M[J]*Y[J];
        O[5]:=O[5]+M[J]*M[J];
      end;
    B[5]:=SS/O[5];
  end;{GB2020}
procedure GB3860(A,B,C,D,E,N,R,S,W:real;
var V0,U0,Q0,I0,M0,F0,G0,H0,K0,L0:real);
  var
    N0,R0,S0,W0,L2,N3,K2,R3,M2,S3,N4,N5:real;
    N6,N7,N8,N9,R4,R5,R6,R7,S4,S5,P0:real;
    Z1,Z2,Z3,Z4,Z5,Z6,Z7,Z0,Z8,Z9,T7:real;
    T8,T9,G3,G4,G5,G6,G7:real;
  begin
    N0:=(ste(A,N)+ste(B,N)+ste(C,N)+ste(D,N)+ste(E,N))/5;
    R0:=(ste(A,R)+ste(B,R)+ste(C,R)+ste(D,R)+ste(E,R))/5;
    S0:=(ste(A,S)+ste(B,S)+ste(C,S)+ste(D,S)+ste(E,S))/5;
    W0:=(ste(A,W)+ste(B,W)+ste(C,W)+ste(D,W)+ste(E,W))/5;
    L2:=2*N;
    N3:=(ste(A,L2)+ste(B,L2)+ste(C,L2)+ste(D,L2)+ste(E,L2))/5;
    K2:=2*R;
    R3:=(ste(A,K2)+ste(B,K2)+ste(C,K2)+ste(D,K2)+ste(E,K2))/5;
    M2:=2*S;
    S3:=(ste(A,M2)+ste(B,M2)+ste(C,M2)+ste(D,M2)+ste(E,M2))/5;
    N4:=N+R;
    N5:=(ste(A,N4)+ste(B,N4)+ste(C,N4)+ste(D,N4)+ste(E,N4))/5;
    N6:=N+S;
    N7:=(ste(A,N6)+ste(B,N6)+ste(C,N6)+ste(D,N6)+ste(E,N6))/5;
    N8:=N+W;
```

```
    N9:=(ste(A,N8)+ste(B,N8)+ste(C,N8)+ste(D,N8)+ste(E,N8))/5;
    R4:=R+S;
    R5:=(ste(A,R4)+ste(B,R4)+ste(C,R4)+ste(D,R4)+ste(E,R4))/5;
    R6:=R+W;
    R7:=(ste(A,R6)+ste(B,R6)+ste(C,R6)+ste(D,R6)+ste(E,R6))/5;
    S4:=S+W;
    S5:=(ste(A,S4)+ste(B,S4)+ste(C,S4)+ste(D,S4)+ste(E,S4))/5;
    V0:=-N0;
    U0:=(N0*R0-N5)/(N3-N0*N0);
    Q0:=-(R0+U0*N0);
    P0:=(N0*S0-N7)/(N3-N0*N0);
    Z1:=R0*S0-R5+P0*(N0*R0-N5);
    Z2:=U0*(N0*S0-N7)+U0*P0*(N0*N0-N3);
    Z3:=R3-R0*R0+2*U0*(N5-N0*R0);
    I0:=(Z1+Z2)/(Z3+(N3-N0*N0)*U0*U0);
    M0:=I0*U0+P0;
    F0:=-(S0+I0*R0+M0*N0);
    Z4:=R0+U0*N0;
    Z5:=Z4*N0-N5-U0*N3;
    Z6:=R3+U0*N5-Z4*R0-Z5*U0;
    Z7:=Z4*S0+Z5*P0-R5-U0*N7;
    Z0:=(N0*W0-N9)/(N3-N0*N0);
    Z8:=Z5*Z0+Z4*W0-R7-U0*N9;
    Z9:=S3+I0*R5+M0*N7;
    T7:=R5+I0*R3+M0*N5;
    T8:=N7+I0*N5+M0*N3;
    T9:=S0+I0*R0+M0*N0;
    G3:=S5+I0*R7+M0*N9;
    G4:=T9*N0-T8;
    G5:=Z9-T9*S0-G4*P0;
    G6:=T9*R0-T7+G4*U0;
    G7:=G4*Z0+T9*W0-G3;
    G0:=(Z6*G7+Z8*G6)/(Z6*G5-Z7*G6);
    H0:=(G0*Z7+Z8)/Z6;
    K0:=G0*P0+H0*U0+Z0;
    L0:=-(W0+G0*S0+H0*R0+K0*N0);
  end;{GB3860}
procedure GB4290;
  begin
    for J:=1 to X do
      begin
        I[J]:=ste(F[J],J1)+V1;
        K[J]:=ste(F[J],O1)+U1*ste(F[J],J1)+Q1;
        L[J]:=ste(F[J],P1)+I1*ste(F[J],O1)+M1*ste(F[J],J1)+F1;
        M[J]:=ste(F[J],T1)+G1*ste(F[J],P1)+H1*ste(F[J],O1)
        +K1*ste(F[J],J1)+L1;
      end;
  end;{GB4290}
procedure GB4340;
  begin
    for J:=1 to X do
      begin
```

```
        P[J]:=ste(H[J],J2)+V2;
        Q[J]:=ste(H[J],O2)+U2*ste(H[J],J2)+Q2;
        U[J]:=ste(H[J],P2)+I2*ste(H[J],O2)+M2*ste(H[J],J2)+F2;
        V[J]:=ste(H[J],T2)+G2*ste(H[J],P2)+H2*ste(H[J],O2)
        +K2*ste(H[J],J2)+L2;
       end;
   end;{GB4340}
 procedure GB4420;
   begin
    for J:=1 to X do
     Z[J]:=B[1]+B[2]*I[J]+B[3]*K[J]+B[4]*L[J]+B[5]*M[J];
   end;{GB4420}
 procedure GB4690;
   begin
    for J:=1 to X do
     begin
      N3:=B[1]+B[2]*I[J]+B[3]*K[J]+B[4]*P[J];
      N4:=B[5]*I[J]*P[J]+B[6]*Q[J]+B[7]*I[J]*Q[J]+B[8]*P[J]*K[J];
      N5:=B[9]*K[J]*Q[J]+B[10]*U[J]+B[11]*I[J]*U[J];
      N6:=B[12]*K[J]*U[J]+B[13]*V[J]+B[14]*I[J]*V[J]+B[15]*K[J]*V[J];
      N7:=B[16]*L[J]+B[17]*P[J]*L[J]+B[18]*Q[J]*L[J]+B[19]*L[J]*U[J];
      R3:=B[20]*L[J]*V[J]+B[21]*M[J]+B[22]*P[J]*M[J];
      R4:=B[23]*Q[J]*M[J]+B[24]*U[J]*M[J]+B[25]*M[J]*V[J];
      Z[J]:=N3+N4+N5+N6+N7+R3+R4;
     end;
   end;{GB4690}
end.

unit TPG3_3;
Interface
 uses  tpg3_2;
 var
  grMode: Integer;
 procedure PR_MOD; procedure GB4880;
 procedure GB7000;
 procedure VVOD51; procedure VVOD52;
 procedure tablF9; procedure OUT_F_H_L(PR:integer);
Implementation
 procedure VVOD51;
   begin
    writeln('Ввод A1 C1 E1 D1 B1 J1 O1 P1 T1');
    readln(A1,C1,E1,D1,B1,J1,O1,P1,T1);
    writeln(F0,'A1=',A1,' C1=',C1,' E1=',E1);
    writeln(F0,'D1=',D1,' B1=',B1,' J1=',J1);
    writeln(F0,'O1=',O1,' P1=',P1,' T1=',T1);
   end;{VVOD51}
 procedure VVOD52;
   begin
    writeln('Ввод A2 C2 E2 D2 B2 J2 O2 P2 T2');
    readln(A2,C2,E2,D2,B2,J2,O2,P2,T2);
    writeln(F0,'A2=',A2,' C2=',C2,' E2=',E2);
    writeln(F0,'D2=',D2,' B2=',B2,' J2=',J2);
```

```
    writeln(F0,'O2=',O2,' P2=',P2,' T2=',T2);
  end;{VVOD52}
procedure PR_MOD;
  begin
    case X of
  5: begin
       F[1]:=A1; F[2]:=B1; F[3]:=C1; F[4]:=D1; F[5]:=E1;
     end
 25:begin
      F[1]:=A1; H[1]:=A2; F[2]:=B1; H[2]:=A2; F[3]:=A1;
      H[3]:=B2; F[4]:=B1; H[4]:=B2; F[5]:=A1; H[5]:=E2;
      F[6]:=B1; H[6]:=E2; F[7]:=E1; H[7]:=A2; F[8]:=E1;
      H[8]:=B2; F[9]:=E1; H[9]:=E2; F[10]:=A1; H[10]:=C2;
      F[11]:=B1; H[11]:=D2; F[12]:=A1; H[12]:=D2; F[13]:=B1;
      H[13]:=C2; F[14]:=E1; H[14]:=C2; F[15]:=E1; H[15]:=D2;
      F[16]:=C1; H[16]:=A2; F[17]:=C1; H[17]:=C2; F[18]:=C1;
      H[18]:=E2; F[19]:=C1; H[19]:=D2; F[20]:=C1; H[20]:=B2;
      F[21]:=D1; H[21]:=A2; F[22]:=D1; H[22]:=C2; F[23]:=D1;
      H[23]:=E2; F[24]:=D1; H[24]:=D2; F[25]:=D1; H[25]:=B2;
    end;
  end;
end;
procedure GB4880;
  begin
    writeln(F0,'Математическая модель');
     if X=5 then
       begin
  writeln(F0,'Z(J)=',B[1]:10,'+',B[2]:10,'*I(J)+',B[3]:10,'*K(J)+');
  writeln(F0,'+',B[4]:10,'*L(J)+',B[5]:10,'*M(J),');
       end;
     if X=25 then
       begin
  writeln(F0,'Z(J)=',B[1]:10,'+',B[2]:10,'*I(J)+',B[3]:10,'*K(J)+');
  writeln(F0,'+',B[4]:10,'*P(J)+',B[5]:10,'*I(J)*P(J)+');
  writeln(F0,'+',B[6]:10,'*Q(J)+',B[7]:10,'*I(J)*Q(J)+');
  writeln(F0,'+',B[8]:10,'*P(J)*Q(J)+',B[9]:10,'*K(J)*Q(J)+');
  writeln(F0,'+',B[10]:10,'*U(J)+',B[11]:10,'*I(J)*U(J)+');
  writeln(F0,'+',B[12]:10,'*K(J)*U(J)+',B[13]:10,'*V(J)+');
  writeln(F0,'+',B[14]:10,'*I(J)*V(J)+',B[15]:10,'*I(J)*V(J)+');
  writeln(F0,'+',B[16]:10,'*L(J)+',B[17]:10,'*P(J)*L(J)+');
  writeln(F0,'+',B[18]:10,'*Q(J)*L(J)+',B[19]:10,'*L(J)*U(J)+');
  writeln(F0,'+',B[20]:10,'*L(J)*V(J)+',B[21]:10,'*M(J)+');
  writeln(F0,'+',B[22]:10,'*P(J)*M(J)+',B[23]:10,'*Q(J)*M(J)+');
  writeln(F0,'+',B[24]:10,'*U(J)*M(J)+',B[25]:10,'*M(J)*V(J),');
       end;
     if (X=5)or(X=25) then
       begin
     writeln(F0,'ГДЕ');
     writeln(F0,'I(J)=F(J)^',J1:10,'+',V1:10,',');
     writeln(F0,'K(J)=F(J)^',O1:10,'+',U1:10,'*F(J)^',J1:10,'+',Q1:10);
       end;
     if (X=5)or(X=25) then
```

```
        begin
          writeln(F0,'L(J)=F(J)^',P1:10,'+',I1:10,'*F(J)^',O1:10,'+');
          writeln(F0,'+',M1:10,'F(J)^',J1:10,'+',F1:10);
        end;
      if (X=5)or(X=25) then
        begin
  writeln(F0,'M(J)=F(J)^',T1:10,'+',G1:10,'*F(J)^',P1:10,'+');
  writeln(F0,'+',H1:10,'*F(J)^',O1:10,'+',K1:10,'*F(J)^',I1:10,'+',L1:10);
        end;
      if (X=25) then
        begin
  writeln(F0,'P(J)=H(J)^',J2:10,'+',V2:10,',');
  writeln(F0,'Q(J)=H(J)^',O2:10,'+',U2:10,'*H(J)^',J2:10,'+',Q2:10,',');
  writeln(F0,'U(J)=H(J)^',P2:10,'+',I2:10,'*H(J)^',O2:10,'+');
  writeln(F0,'+',M2:10,'*H(J)^',J2:10,'+',F2:10);
        end;
      if (X=25) then
        begin
  writeln(F0,'V(J)=H(J)^',T2:10,'+',G2:10,'*H(J)^',P2:10,'+');
  writeln(F0,'+',H2:10,'*H(J)^',O2:10,'+',K2:10,'*H(J)^',J2:10,'+');
  writeln(F0,'+',L2:10);
        end;
     end;{GB4880}
procedure GB7000;
  label 1;
  begin
   repeat
    writeln('vvod X');
    readln(X);
    writeln('X=',X);
    writeln(F0,'X=',X);
    if (X=5) then I0:=61;
    if (X=25) then I0:=62;
    if I0=61 then
      begin
        case X of
          5: I0:=75;
        end;
    F3:=0; F4:=0; K5:=0;
    writeln('Фактор F(1)=F3+F4');
    for J:=1 to X do
      begin
        F[J]:=0; Z[J]:=0;
      end;
    writeln('F4-шаг приращения фактора');
    writeln('X-количество значений фактора');
    writeln('Ввод принятых величин X  F3  F4');
    readln(X,F3,F4);
    writeln(F0,'F4-шаг приращения фактора');
    writeln(F0,'X-количество значений фактора');
    writeln(F0,'X=',X,' F3=',F3,' F4=',F4);
    for K5:=1 to X do
```

```
    begin
      F[K5]:=F3+K5*F4;
      writeln('F(',K5,')=',F[K5]);
    end;{for}
  case I0 of
    75:begin
         GB4290; GB4420;
       end;
    end;{case}
  for K5:=1 to X do
      writeln('Z(',K5,')=',Z[K5]);
  OUT_F_H_L(73);
  end;{if}
if I0=62 then
  begin
    case X of
      25:I0:=81;
    end;
  F3:=0; F4:=0; H3:=0;
  H4:=0; K5:=0;
  writeln('Фактор F(1)=F3+F4');
  writeln(F0,'Фактор F(1)=F3+F4');
    for J:=1 to X do
        begin
          F[J]:=0; H[J]:=0; Z[J]:=0;
        end;
      writeln('F4-шаг приращения 1-го фактора');
      writeln('Фактор H(1)=H3+H4');
      writeln('H4-шаг приращения 2-го фактора');
      writeln('X-количество значений 1,2-го фактора');
      writeln('Ввод принятых величин X F3 F4 H3 H4');
      writeln(F0,'F4-шаг приращения 1-го фактора');
      writeln(F0,'Фактор H(1)=H3+H4');
      writeln(F0,'H4-шаг приращения 2-го фактора');
      writeln(F0,'X-количество значений 1,2-го фактора');
      readln(X,F3,F4,H3,H4);
      writeln(F0,'X=',X,' F3=',F3,' F4=',F4);
      writeln(F0,'H3=',H3,' H4=',H4);
      for K5:=1 to X do
        begin
          F[K5]:=F3+K5*F4;
          writeln('F(',K5,')=',F[K5]);
          H[K5]:=H3+K5*H4;
          writeln('H(',K5,')=',H[K5]);
          case I0 of
            81:begin
                 GB4290; GB4340; GB4690;
               end;
          end;{case}
          writeln('Z(',K5,')=',Z[K5]);
        end;{for}
        for K5:=1 to X do
```

```
      writeln('Z(',K5,')=',Z[K5]);
    OUT_F_H_L(74);
  end;{if}
writeln('Выявление MAX Z(K5) и MIN Z(K5)');
writeln(F0,'Выявление MAX Z(K5) и MIN Z(K5)');
K8:=0; K8:=Z[1];
for K5:=1 to X do
  if Z[K5]>=K8 then K8:=Z[K5];
    begin
writeln('MAX Z(K5)=',K8);
writeln(F0,'MAX Z(K5)=',K8);
    end;
for K5:=1 to X do
  if Z[K5]=K8 then
    begin
      writeln('MAX Z(',K5,')=',Z[K5]);
      writeln(F0,'MAX Z(',K5,')=',Z[K5]);
    end;
K7:=0; K7:=Z[1];
for K5:=1 to X do
  if Z[K5]<=K7 then K7:=Z[K5];
    begin
writeln('MIN Z(K5)=',K7);
writeln(F0,'MIN Z(K5)=',K7);
    end;
for K5:=1 to X do
  if Z[K5]=K7 then
    begin
      writeln('MIN Z(',K5,')=',Z[K5]);
      writeln(F0,'MIN Z(',K5,')=',Z[K5]);
    end;
writeln('MIN Z(K5)=K7, MAX Z(K5)=K8');
writeln('K6(K5)=(Z(K5)+abs(K7))/(abs(K7)+abs(K8))');
writeln(F0,'MIN Z(K5)=K7, MAX Z(K5)=K8');
writeln(F0,'K6(K5)=(Z(K5)+abs(K7))/(abs(K7)+abs(K8))');
  for K5:=1 to X do
    begin
      KK6[K5]:=(Z[K5]+abs(K7))/(abs(K7)+abs(K8));
      writeln('K6(',K5,')=',KK6[K5]);
      writeln(F0,'K6(',K5,')=',KK6[K5]);
    end;
  J5:=0;
  J5:=abs(K7)/(abs(K7)+abs(K8));
  writeln('J5:=abs(K7)/(abs(K7)+abs(K8))');
  writeln('J5=',J5);
  writeln(F0,'J5:=abs(K7)/(abs(K7)+abs(K8))');
  writeln(F0,'J5=',J5);
  writeln(F0,'Построение графика. Excel');
  writeln(F0,'Зависимость KK6(K5) от фактора');
  writeln(F0,'KK6(K5)-относительная величина показателя');
  writeln(F0,'K5-номер величины фактора и показателя');
  writeln('if I0=92 then GB7000');
```

```
      writeln('if I0=94 then goto 1');
      write('I0=');
      readln(I0);
      if I0=92 then GB7000;
      if I0=94 then goto 1;
    1: until I0=94;
      end;{GB7000}
procedure tablF9;
   begin
    write('            Значения F7 для 5% уровня');
    writeln('значимости');
    write('┌──┬──────────────────────────────────────────────────────────────┐');
    writeln('──────────────────────────────────┐ ');
    write('│  │                    F9      ');
    writeln('                  │');
    write('│F8├──────┬──────┬──────┬──────┬──────┬──────┬──────┬──────┬──────┤');
    writeln('──────────────────────────────────┘ ');
    write('│  │ 2  │ 3  │ 4  │ 8  │ 11 │ 14 │');
    writeln('15-16 │19-20 │  24  │26-30 │');
    write('├──┼────┼────┼────┼────┼────┼────┼────┼────┼──────┤');
    writeln('──────────────────────────────────┘ ');
    write('│ 2 │19.0 │19.16 │19.25 │19.37 │19.4 │19.42 │');
    writeln('19.43 │19.44 │19.45 │19.46 │');
    write('├──┼────┼────┼────┼────┼────┼────┼────┼────┼──────┤');
    writeln('──────────────────────────────────┘ ');
    write('│ 3 │9.55 │ 9.28 │ 9.12 │ 8.84 │8.76 │ 8.71 │');
    writeln(' 8.69 │ 8.66 │ 8.64 │ 8.62 │');
    write('├──┼────┼────┼────┼────┼────┼────┼────┼────┼──────┤');
    writeln('──────────────────────────────────┘ ');
    write('│ 4 │6.94 │ 6.59 │ 6.39 │ 6.04 │5.93 │ 5.87 │');
    writeln(' 5.84 │ 5.8  │ 5.77 │ 5.74 │');
    write('├──┼────┼────┼────┼────┼────┼────┼────┼────┼──────┤');
    writeln('──────────────────────────────────┘ ');
    write('│ 5 │5.79 │ 5.41 │ 5.19 │ 4.82 │ 4.7 │ 4.64 │');
    writeln(' 4.6  │ 4.56 │ 4.53 │ 4.5  │');
    write('├──┼────┼────┼────┼────┼────┼────┼────┼────┼──────┤');
    writeln('──────────────────────────────────┘ ');
    write('│ 6 │5.14 │ 4.76 │ 4.53 │ 4.15 │4.03 │ 3.96 │');
    writeln(' 3.92 │ 3.87 │ 3.84 │ 3.81 │');
    write('└──┴────┴────┴────┴────┴────┴────┴────┴────┴──────┘');
    writeln('──────────────────────────────────┘ ');
   end;
procedure OUT_F_H_L(PR:integer);
  begin
  if PR=73 then
    begin
      writeln(F0,'┌──┬──────────────────────────────┐ ');
      writeln(F0,'│  │      Значение       │ ');
      writeln(F0,'│ J ├──────────┬──────────┤ ');
      writeln(F0,'│  │   F(J)   │   Z(J)   │ ');
    end;
  if PR=74 then
```

```
    begin
      writeln(F0,'┌─────┬──────────────────────────────────────┐');
      writeln(F0,'│     │              Значение                │');
      writeln(F0,'│  J  ├──────────────┬──────────────┬────────┤');
      writeln(F0,'│     │    F(J)      │    H(J)      │  Z(J)  │');
    end;
  if PR=73 then
    begin
      for J:=1 to X do
        begin
          writeln(F0,'├─────┼──────────────┼──────────────┼────────┤');
          writeln(F0,'│ ',J:2,' │',F[J]:10,'│',Z[J]:10,'│');
        end;
          writeln(F0,'└─────┴──────────────┴──────────────┴────────┘');
    end;
  if PR=74 then
    begin
      for J:=1 to X do
        begin
          write(F0,'├─────┼──────────────┼──────────────┼');
          writeln(F0,'────────┤');
          write(F0,'│ ',J:2,' │',F[J]:10,'│',H[J]:10);
          writeln(F0,'│',Z[J]:10,'│');
        end;
    writeln(F0,'└─────┴──────────────┴──────────────┴────────┘');
    end;
          write(F0,'└─────┴──────────────┴──────────────┘');
          writeln(F0,'──────────────┴──────────────┘ ');
    end;
  end;
end.
```

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему исходное уравнение для выявления математической модели выбрано в виде ряда (многочлена), почему оно называется уравнением регрессии, а его коэффициенты – коэффициентами регрессии?
2. В каких случаях факторы, влияющие на показатель процесса, считаются существенными, как производится выбор интервалов варьирования факторов?
3. Зачем выполняется регрессионный анализ?
4. Почему показатели степени факторов надо принимать буквенными?
5. В каких случаях матрица становится ортогональной, зачем надо делать матрицу ортогональной, от чего зависит количество коэффициентов ортогональности?
6. На основе чего и как выявляются коэффициенты ортогональности?
7. Можно ли определять коэффициенты регрессии независимо друг от друга, если матрица не будет ортогональной?
8. Почему рационально выполнять параллельные опыты на среднем уровне факторов, сколько надо проводить таких опытов, как определяется дисперсия опытов?
9. В чем преимущества независимого определения коэффициентов регрессии?
10. Почему дисперсии в определении коэффициентов регрессии рассчитываются независимо друг от друга, и как это делается?
11. Как определяют расчетные t-критерии, с чем их сравнивают, в каких случаях коэффициенты регрессии – значимые, а в каких – незначимые?
12. Зачем сравнивают введенные величины показателей с рассчитанными (по разностям и в процентах)?
13. О чем свидетельствует незначимость коэффициентов регрессии?
14. Как определяется адекватность и точность математической модели?
15. Как выявляются уравнения регрессии двухфакторного, трехфакторного, многофакторного процесса?
16. Почему совпадает количество опытов в плане и количество членов в уравнении регрессии?
17. Почему для каждого фактора отдельно выявляются коэффициенты ортогонализации?
18. Почему надо выполнять расчеты на ЭВМ с такой точностью, какую может обеспечить вычислительная машина?
19. В каких случаях рационально применять язык программирования Бейсик?
20. Каков алгоритм математического моделирования, почему надо до рассмотрения компьютерных программ изучить язык программирования Бейсик, можно ли не зная операторов языка Бейсик рассматривать и анализировать программы на этом языке?
21. Из каких частей состоят программы математического моделирования?

22. Почему расчеты по математическим моделям надо выполнять, используя общую программу математического моделирования?
23. Как выполняются расчеты по математическим моделям и графические построения?
24. Каковы преимущества представления результатов расчетов в абсолютных и относительных величинах, как выявляются максимальные и минимальные величины?
25. Почему выполнение программ надо заносить в файлы?
26. Можно ли оптимизировать, прогнозировать процессы, изобретать на основе моделирования?
27. Как выявляются факторы, существенно влияющие на показатели процесса, как можно уменьшить количество факторов, что дает применение комплексных факторов?
28. Почему надо изменять масштабы при графических построениях и что при этом достигается?
29. В каких случаях следует применять разные методы моделирования?
30. Какова эффективность моделирования, в чем заключаются преимущества изложенных выше методик математического моделирования?
31. Зачем в компьютерных программах предусмотрены различные переходы и можно ли их применять, если использовать не язык Бейсик, а другие языки программирования?
32. Что дает применение в компьютерных программах управляющей величины X?
33. Чем отличается аппроксимация от математического моделирования, в каких случаях надо применять многократно аппроксимацию?
34. Какие части компьютерных программ относятся к аппроксимации, выявлению математической модели, выполнению расчетов по математической модели, поиску максимальных и минимальных величин показателей, графическому построению зависимости показателя от фактора?
35. Почему по программе строятся графики и как это выполняется?
36. Можно ли многократно изменять масштабы графических построений и если можно, то зачем это надо делать?
37. Почему для выбора показателей степени фактора в исходном уравнении надо несколько раз использовать часть компьютерной программы, которая предусматривает аппроксимацию и в каких случаях после рассмотрения результатов аппроксимации можно переходить к математическому моделированию?
38. Что дает использование аппроксимации в комплексных компьютерных программах, как проверяется точность полученных результатов аппроксимации, а затем и математических моделей?
39. Почему использование файлов упрощает компьютерные программы на языке Бейсик, как выполняется анализ результатов выполнения программ при рассмотрении файлов, можно ли из файлов исключить ненужные сведения и добавлять необходимые для разъяснения полученных данных?

40. Как достигается универсальность компьютерных программ?
41. Почему математическое моделирование позволяет выполнять фундаментальные научные исследования, какие результаты моделирования рационально вносить в научные отчеты и использовать при разработке изобретений?
42. Каковы преимущества использования языка Турбо Паскаль для математического моделирования?

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ

1. Выявить зависимость производительности вагранки $G_м$ от диаметра шахты в зоне плавления $D_ш$ по программе VN0 при тех же данных, которые использованы в первом варианте моделирования, кроме показателей степени в уравнении регрессии, которые принять следующими:

а) J1 = 1; O1 = 1,2; P1 = 2; T1 = 2,2;
б) J1 = 1; O1 = 1,5; P1 = 2; T1 = 2,5;
в) J1 = 1; O1 = 1,8; P1 = 3; T1 = 4;
г) J1 = 1; O1 = 1,9; P1 = 3; T1 = 4;
д) J1 = 0,1; O1 = 0,3; P1 = 0,4; T1 = 2.

Сравнить полученные результаты моделирования, расчеты по математическим моделям. Определить влияние принятых величин показателей степени в уравнении регрессии на точность математической модели.

2. По программе VL0 произвести математическое моделирование, выявить зависимость потерь металла при плавке в газовой вагранке $У_{мет}$ от количества стали в шихте $Ш_с$, температуры вдуваемого в горелки воздуха T_b и связанного с ней коэффициента расхода воздуха α при следующих данных для моделирования:

X = 4; A1 = 0; B1 = 100; A2 = 293; B2 = 873; N0 = 4; F8 = 3;
U9 = 0,1667; T0 = 3,182; f7 = 9,28. Показатели степени в уравнении регрессии принять:

а) J1 = 1; J2 = 1;
б) J1 = 1,4; J2 = 1,4;
в) J1 = 1,8; J2 = 1,8.

Выполнить расчет показателей процесса и построение графиков при X = 10; F3 = 10; F4 = 0; H3 = 200; H4 = 80. Сравнить результаты расчетов с теми, которые получены при планировании 3^2 и моделировании этого процесса по программе VN0, когда X = 9.

3. Применив планирование 5^2 (X = 25) и программу VN0, найти зависимости $У_{мет}$ от $Ш_с$ и T_b, связанной с α, при следующих исходных данных для моделирования: X = 25; A1 = 0; C1 = 25; E1 = 50;
D1 = 75; B1 = 100; A2 = 293; C2 = 438; E2 = 583; D2 = 728; B2 = 873; N0 = 4;
U9 = 0,1667; T0 = 3,182; F7 = 8,64; J1 =1; O1 = 2; P1 = 3; T1 = 4; J2 = 1; O2 = 2;
P2 = 3; T2 = 4: изменение $У_{мет}$ от Y(1) до Y(25) по плану 5^2 в порядке 7,5; 100;

1,5; 15; 4; 81; 39; 5; 6; 52; 2,5; 95; 34,5; 20; 20; 17,5; 14; 10; 2,5; 67; 61; 50,5; 34,5; 9.

Произвести расчеты и построение графика при X = 10; F3 = 10; F4 = 0; H3 = 200; H4 = 80. Проанализировать математическую модель, результаты расчетов и график, сделать выводы и разработать рекомендации по уменьшению потерь металла при плавке в газовой вагранке.

На основе планирования экспериментов, математического моделирования и анализа результатов расчетов по математическим моделям разработать:

а) новый сплав, обладающий требуемыми повышенными свойствами;

б) более эффективный процесс плавки материала;

в) экологически чистую технологию производства отливок;

г) оптимальный состав формовочной или стержневой смеси;

д) усовершенствованную конструкцию устройства для использования в литейном производстве.

5. Продолжить примеры возможного применения планирования экспериментов и математического моделирования в литейном производстве.

6. Из программы VN0 выделить отдельные программы для случаев планирования 4^1 (X = 4), 5^1 (X = 5), 3^2 (X = 9), 3^3 (X = 27).

7. Изучить литературные источники [1-10] и сравнить изложенные в них методические разработки по планированию экспериментов и математическому моделированию с разработками по этим вопросам других авторов, перечислить преимущества, которые могут быть достигнуты при применении новых методических разработок.

8. Кратко изложить особенности инженерного творчества, выполнения научных исследований, обработки результатов экспериментов при планировании математического моделирования.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какие известны по литературным источникам методы математического моделирования, их недостатки?

2. Как устранены недостатки существующих методов математического моделирования в изложенной выше разработке?

3. Что такое математическая модель, зачем надо ее выявлять и как ее анализировать?

4. Как производится выбор показателей процесса, существенных факторов, планов проведения экспериментов, как выполняются эксперименты для математического моделирования?

5. Почему для выявления математических моделей выбраны уравнения в виде рядов (многочленов), как называются эти уравнения и коэффициенты при каждом члене многочлена?

6. Как объяснить применение при математическом моделировании понятия регрессии?

7. Соответствует ли количество коэффициентов регрессии в уравнении регрессии количеству уровней фактора (для однофакторного процесса)?

8. В каких случаях матрицы определения коэффициентов регрессии становятся ортогональными и зачем надо добиваться ортогональности матриц?

9. Сколько надо определить коэффициентов ортогонализации, если принять два, три, четыре, пять уровней фактора (для однофакторного процесса)?

10. Почему нерационально применять больше пяти уровней фактора?

11. Равно ли количество членов многочлена и коэффициентов регрессии количеству опытов по плану проведения экспериментов (при полном факторном эксперименте)?

12. Почему показатели степени фактора в уравнении регрессии приняты буквенными?

13. Можно ли изменять величины показателей степени фактора при выявлении математических моделей и если можно, то в каких случаях, сколько раз, какие величины показателей степени рационально принимать первоначально и в последующем, что является критерием правильности выбора показателей степени фактора?

14. Как определяются коэффициенты регрессии при ортогональности матрицы?

15. Какие преимущества достигаются при определении коэффициентов регрессии независимо друг от друга?

16. По какому критерию выявляется статистическая значимость коэффициентов регрессии?

17. Как выявляется дисперсия опытов, почему лучше проводить серию параллельных одинаковых опытов на среднем уровне факторов, как определить средние уровни факторов, сколько надо выполнять одинаковых опытов на среднем уровне факторов?

18. По какой формуле выполняется расчет дисперсии опытов?

19. Почему дисперсии в определении коэффициентов регрессии рассчитываются независимо друг от друга, является ли это следствием ортогональности матриц?

20. По какому критерию проверяется адекватность математической модели?

21. Как оценивается фактическая точность математической модели?

22. Можно ли использовать для выявления математической модели комплексные факторы и факторы в виде зависимости одного фактора от другого или ряда других факторов, каковы особенности анализа математической модели при комплексных факторах?

23. Как выявляются уравнения регрессии при влиянии на показатель двух и трех факторов?

24. Почему рационально применять различные методы моделирования (моделирование на основе теории подобия, теории размерностей, математи-

ческое моделирование) и как следует выполнять в этом случае анализ результатов моделирования?

25. Что является критерием истины и как подтвердить истинность данных, рассчитанных по математическим моделям?

26. Какие особенности моделирования многофакторного процесса?

27. Каков алгоритм математического моделирования для программирования применительно к использованию ЭВМ?

28. В чем заключаются преимущества языка программирования Бейсик, какие операторы языка Бейсик использованы в разработанных программах?

29. Можно ли совершенствовать, оптимизировать, прогнозировать, автоматизировать процессы, разрабатывать изобретения на основе математических моделей?

30. Как достигается экономичность исследовательской работы при последующем математическом моделировании?

31. В чем заключается фундаментальность исследований и какое значение имеет математическое моделирование при выполнении таких исследований?

32. Необходимо ли применять математическое моделирование при выполнении научно-исследовательских, диссертационных работ, каковы могут быть направления дальнейшего совершенствования методики математического моделирования?

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Черный А.А. Математическое моделирование применительно к литейному производству: Учеб. Пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 1998. – 121 с.

2. Черный А.А. Планирование экспериментов и математическое моделирование процессов. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1977. – 80 с.

3. Смирнов Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений/ Н.В. Смирнов, И.В. Дунин-Барковский. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Наука. Гл.ред.физ.-мат.лит., 1965. – 512 с.

4. Математическое моделирование литейных процессов: Методические указания/ Сост. А.А.Черный. – Пенза: Подразделение оперативной полиграфии Пензенского ЦНТИ, 1992. – 36 с.

5. Моделирование сложных процессов по результатам экспериментов: Методические указания/ Сост. А.А.Черный. – Пенза: Пензенский политехнический институт, 1990. – 37 с.

6. Математическое моделирование процессов литейного производства и применение ЭВМ для их расчетов: Методические указания/ Сост. А.А.Черный. – Пенза: Пензенский политехнический институт, 1990. – 36 с.

7. Разработка новых сплавов с использованием ЭВМ: Методические указания/ Сост. А.А.Черный. – Пенза: Пензенский политехнический институт, 1990. – 28 с.

8. Черный А.А. Методика и программы математического моделирования: Учеб. пособие. – Пензе: Подразделение оперативной полиграфии Пензенского ЦНТИ, 1994. – 38 с.

9. Черный А.А. Практика планирования экспериментов и математического моделирования процессов. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1984. – 103 с.

10. Новик Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методом планирования экспериментов/ Ф.С. Новик, А.Б. Арсов. – М.: Машиностроение; София: техника, 1980. – 304 с.

11. Математическое моделирование в литейном производстве: рабочая программа и метод. указ. к практическим работам. / Сост. А.А. Черный. – Пенза: Изд-во Пенз.гос.ун-та, 2005. – 20 с.

12. Вычислительная техника в инженерных расчетах: рабочая программа и метод.указ. к лабораторным, практическим и курсовым работам. / Сост. А.А. Черный. – Пенза: Изд-во Пенз.гос.ун-та, 2005. – 39 с.

13. Задания по математическому моделированию в литейном производстве: метод.указ./ Сост. А.А. Черный. – Пенза: Изд-во Пенз.гос.ун-та, 2005. – 27 с.

14. Принципы инженерного творчества: рабочая программа и метод.указ. к практическим работам./ Сост. А.А. Черный. – Пенза: Изд-во Пенз.гос.ун-та, 2005. – 16 с.

15.Черный А.А. Математическое моделирование при планировании экспериментов на двух уровнях факторов: учебное пособие / А.А. Черный. – Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2006. – 36 с.

16.Черный А.А. Математическое моделирование при планировании экспериментов на трех уровнях факторов: учебное пособие / А.А. Черный. – Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2006. –80 с.

17.Черный А.А. Математическое моделирование при планировании экспериментов на четырех уровнях факторов: учебное пособие / А.А. Черный. – Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2006. – 92 с.

18.Черный А.А. Математическое моделирование при планировании экспериментов на пяти уровнях факторов: учебное пособие / А.А. Черный. – Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2006. – 40 с.

19.Черный А.А. Математическое моделирование при планировании экспериментов на трех, четырех, пяти уровнях факторов и при неодинаковом количестве уровней первого и второго факторов: учебное пособие / А.А. Черный. – Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2006. – 56 с.

20.Черный А.А. Применение математического моделирования для прогнозирования свойств сплавов // Математическое и компьютерное моделирование естественнонаучных и социальных проблем: сборник статей I Международной научно-технической конференции молодых специалистов, аспирантов и студентов. – Пенза: Пензенский государственный университет, АНОО «Приволжский Дом знаний», 2007. – С. 135-139.

21.Черный А.А. Компьютерные программы математического моделирования и расчетов по математическим моделям: учебн. Пособие. – Пенза: Изд-во Пенз.гос.ун-та, 2006.-197с.

22.Черный А.А. Системный анализ результатов расчетов по математическим моделям: учебн.пособие/А.А. Черный.-Пенза: Изд-во пенз.гос.ун-та, 2008.-192с.

23.Черный А.А. Компьютерные дополненные программы математического моделирования и расчетов по математическим моделям: учебное пособие/А.А. Черный.-Пенза: Информационно-издательский центр ПензГУ, 2008-356с.

24.Черный А.А. Математическое моделирование в литейном производстве: учебное пособие / А.А. Черный. – Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2007. – 192 с.

25.Черный А.А. Математическое моделирование при неодинаковом количестве уровней факторов на языках Бейсик и Турбо Паскаль: Учеб.пособие/А.А.Черный. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2010.-124с.

26.Черный А.А. Математическое моделирование при ортогонализации матриц: учебное пособие/А.А.Черный.- Пенза: Пензенский государственный университет, 2010.-84с.

27.Черный А.А. Современные эффективные изобретательские разработки: учебное пособие/А.А.Черный.- Пенза: Пензенский государственный университет, 2010. – 128с.

28.Черный А.А. Теория, планы, алгоритм и компьютерные программы при пяти уровнях факторов: Учеб.пособие. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2010. – 73с.

29.Черный А.А. Математическое моделирование с применением графических построений в EXCEL: учебное пособие/ А.А.Черный. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2010. – 91с.

30.Черный А.А. Математическое моделирование при трех уровнях факторов по программам на языках Бейсик и Турбо Паскаль: Учеб.пособие/А.А.Черный. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2010.-105с.

31.Черный А.А. Математическое моделирование при двух уровнях факторов по программам на языках Бейсик и Турбо Паскаль: Учеб. пособие/А.А.Черный.-Пенза: Пензенский государственный университет, 2010.-172с.

32.Черный А.А. Авторские права на произведения науки, программы для ЭВМ: Учеб.пособие/А.А.Черный.-Пенза: Изд-во Пенз.гос.ун-та, 2010.-300с.

33.Черный А.А. Интеллектуальная собственность - изобретения: Учеб.пособие/А.А.Черный.-Пенза: Изд-во Пенз.гос.ун-та, 2010.-57с.

34.Черный А.А. Планы проведения экспериментов и компьютерные программы эффективного математического моделирования на языках Бейсик

и Турбо Паскаль: Учеб.пособие/А.А.Черный.-Пенза: Пензенский государственный университет, 2010.-528с.

35.Черный А.А. Теория и практика эффективного математического моделирования: Учеб.пособие/А.А.Черный.-Пенза: Пенз.гос.ун-т, 2010.-419с.

36.Черный А.А. Вычислительная техника в инженерных расчетах и моделировании: Учеб.пособие/А.А.Черный.-Пенза: Изд-во Пенз.гос.ун-та, 2010.-268с.

37.Черный А.А. Эффективное математическое моделирование в литейном производстве: Учеб.пособие/А.А.Черный.-Пенза:Пенз.гос.ун-т, 2010.-251с.

38.Черный А.А. Изобретения и совершенствования с применением математического моделирования: Учеб.пособие/А.А.Черный.-Пенза: Пенз.гос.ун-т, 2010-239с.

39.Черный А.А. Улучшение способов получения пористых материалов и изделий на основе изобретений и моделирования: Учеб.пособие/А.А.Черный.-Пенза: Пенз.гос.ун-т, 2010.-202с.

40.Дурина Т.А., Черный А.А. Математическое моделирование процессов рафинирования алюминиевых сплавов: Методич.пособие /Т.А.Дурина, А.А.Черный.-Пенза: Изд-во Пенз.гос.ун-та, 2010.-33с.

41.Дурина Т.А., Черный А.А., Соломонидина С.И. Математические модели обеспечения качества литых изделий// Надежность и качество: Труды международного симпозиума. Под ред. Н.К. Юркова.-Пенза: Изд-во Пенз.ГУ, 2010. в 2-х томах – 1 том.-с.360.

42.Черный А.А., Черный В.А. Эффективное математическое моделирование сложных многофакторных физических процессов при получении новых сплавов// Математическое и компьютерное моделирование естественнонаучных и социальных проблем: сборник статей молодых специалистов, аспирантов и студентов.-Пенза: Приволжский Дом знаний, 2010.-с.156-158.

43.Черный А.А. Эффективное математическое моделирование в литейном производстве при ортогонализации матриц: Учеб.пособие – Пенза: Пенз.гос.ун-т, 2010.-256с. (Электронное учебное пособие).

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

ЗАЩИТА ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ РАЗРАБОТОК

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ ……..…..200
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПАТЕНТНЫХ ПРАВ…….……..201
ПРИМЕРЫ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСТВА (ЗАЯВКИ НА
ИЗОБРЕТЕНИЯ И ПОЛУЧЕННЫЕ ПАТЕНТЫ)……214
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ……250
ЛИТЕРАТУРА ……....252

В В Е Д Е Н И Е

Инновации актуальны и востребованы в различных отраслях промышленности!

Интеллектуальный труд является основой научно-технического прогресса. Выполняются все новые и новые разработки, многие из которых становятся изобретениями. Однако авторские права разработчиков новшеств зачастую защищаются недостаточно. Это связано как с незнанием разработчиками действующих законодательств по изобретательству, так и с недостатками рекламы, внедрения новшеств в производство, их использования, невыгодной продажей внутри страны и за рубежом. Патентование изобретений бывает настолько запоздалыми, что возникают неизбежные экономические потери. Реклама новых разработок, поиск покупателей, заключение лицензионных соглашений, договоров, выполнение договорных обязательств организованы не на должном уровне. Многие новые разработки бывают незащищены, их безнаказанно используют. Творческие разработки авторов могут использовать с выгодой для себя лица, не связанные с творческим трудом. Нарушения патентного законодательства, а также других законов, защищающих творческий труд, приносят большие убытки авторам и государству.

Защита интеллектуальной собственности актуальна. Надо знать, как эффективно защищать эту собственность.

В данной работе изложены основы патентных прав на изобретения в соответствии с Гражданским Кодексом, который вступил в силу 1 января 2008 года [1]. Приведены примеры творческих разработок, по которым выданы патенты Российской Федерации. Даны контрольные вопросы.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПАТЕНТНЫХ ПРАВ

Интеллектуальные права на изобретения являются патентными правами. Автору изобретения принадлежат следующие права: исключительное право; право авторства.

Автору изобретения принадлежат также другие права, в том числе право на получение патента, право на вознаграждение за использование служебного изобретения.

Признаются исключительные права на изобретения, удостоверенные патентами.

Автором изобретения, творческим трудом которого создан соответствующий результат интеллектуальной деятельности. Лицо, указанное в качестве автора в заявке на выдачу патента на изобретение, считается автором изобретения, если не доказано иное.

Граждане, создавшие изобретение совместным творческим трудом, признаются соавторами. Каждый из соавторов вправе использовать изобретение по своему усмотрению, если соглашением между ними не предусмотрено иное. К отношениям соавторов, связанным с распределением доходов от использования изобретения и с распоряжением исключительным правом на изобретение соответственно применяются правила действующего Гражданского Кодекса. Распоряжение правом на получение патента на изобретение осуществляется авторами совместно. Каждый из соавторов вправе самостоятельно принимать меры по защите своих прав на изобретение.

Объектами патентных прав являются результаты интеллектуальной деятельности в научно-технической сфере.

Не могут быть объектами патентных прав решения, противоречащие общественным интересам, принципам гуманности и морали.

Исключительное право на изобретение признается и охраняется при условии государственной регистрации соответствующих изобретения.

Патент на изобретение удостоверяет приоритет изобретения, авторство и исключительное право на изобретение.

Охрана интеллектуальных прав на изобретение или полезную модель предоставляется на основании патента в объеме, определяемом содержащейся в патенте формулой изобретения. Для толкования формулы изобретения могут использоваться описание и чертежи.

Государство стимулирует создание и использование изобретений, предоставляет их авторам, а также патентообладателям и лицензиатам, использующим соответствующие изобретения, льготы в соответствии с законодательством.

Право авторства, то есть право признаваться автором изобретения неотчуждаемо и непередаваемо, в том числе при передаче другому лицу или переходе к нему исключительного права на изобретение, и при предоставлении другому лицу права его использования.

Право на получение патента на изобретение первоначально принадлежит автору изобретения.

Право на получение патента на изобретение может перейти к другому лицу (правопреемнику) или быть ему передано в порядке универсального правопреемства, или по договору, в том числе по трудовому договору.

Договор об отчуждении права на получение патента на изобретение должен быть заключен в письменной форме. Несоблюдение письменной формы влечет недействительность договора.

Если соглашением сторон договора об отчуждении права на получение патента на изобретение не предусмотрено иное, риск непатентоспособности несет приобретатель такого права.

Патентообладателю принадлежит исключительное право использования изобретения любым не противоречащим закону способом. Патентообладатель может распоряжаться исключительным правом на изобретение.

По истечении срока действия исключительного права изобретение переходит в общественное достояние.

Изобретение, перешедшие в общественное достояние, могут свободно использоваться любым лицом без чьего-либо согласия или разрешения и без выплаты вознаграждения за использование.

По договору об отчуждении исключительного права на изобретение (договор об отчуждении патента) одна сторона (патентообладатель) передает или обязуется передать принадлежащее ей исключительное право на соответствующий результат интеллектуальной деятельности в полном объеме другой стороне - приобретателю исключительного права (приобретателю патента).

Заявитель, являющийся автором изобретения, при подаче заявки на выдачу патента на изобретение может приложить к документам заявки заявление о том, что в случае выдачи патента он обязуется заключить договор об отчуждении патента на условиях, соответствующих установившейся практике.

По лицензионному договору одна сторона - патентообладатель (лицензиар) предоставляет или обязуется предоставить другой стороне (лицензиату) удостоверенное патентом право использования изобретения в установленных договором пределах.

Патентообладатель может подать заявление о возможности предоставления любому лицу права использования изобретения (открытой лицензии).

Договор об отчуждении патента, лицензионный договор, а также другие договоры, посредством которых осуществляется распоряжение исключительным правом на изобретение, заключаются в письменной форме и подлежат государственной регистрации.

Изобретение, полезная модель или промышленный образец, созданные работником в связи с выполнением своих трудовых обязанностей или конкретного задания работодателя, признаются соответственно служебным изобретением.

Право авторства на служебное изобретение принадлежит работнику (автору).

Исключительное право на служебное изобретение и право на получение патента принадлежат работодателю, если трудовым или иным договором между работником и работодателем не предусмотрено иное.

Изобретение созданное работником с использованием денежных, технических или иных материальных средств работодателя, но не в связи с выполнением своих трудовых обязанностей или конкретного задания работодателя, не являются служебными. Право на получение патента и исключительное право на такие изобретения принадлежат работнику. В этом случае работодатель вправе по своему выбору потребовать предоставления ему безвозмездной простой (неисключительной) лицензии на использование созданного результата интеллектуальной деятельности для собственных нужд на весь срок действия исключительного права либо возмещения расходов, понесенных им в связи с созданием такого изобретения.

В случае, когда изобретение создано при выполнении договора подряда или договора на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских или технологических работ, которые прямо не предусматривали их создание, право на получение патента и исключительное право на такое изобретение, принадлежат подрядчику (исполнителю), если договором между ним и заказчиком не предусмотрено иное.

В этом случае заказчик вправе, если договором не предусмотрено иное, использовать созданные таким образом изобретение в целях, для достижения которых был заключен соответствующий договор, на условиях простой (неисключительной) лицензии в течение всего срока действия патента без выплаты за это использование дополнительного вознаграждения. При передаче подрядчиком (исполнителем) права на получение патента или отчуждении самого патента другому лицу заказчик сохраняет право использования изобретения на указанных условиях.

В случае, когда в соответствии с договором между подрядчиком (исполнителем) и заказчиком право на получение патента или исключительное право на изобретение передано заказчику, либо указанному им третьему лицу, подрядчик (исполнитель) вправе использовать созданное изобретение для собственных нужд на условиях безвозмездной простой (неисключительной) лицензии в течение всего срока действия патента, если договором не предусмотрено иное.

Автору изобретения, не являющемуся патентообладателем, выплачивается вознаграждение.

Право на получение патента и исключительное право на изобретение, созданные при выполнении работ по государственному или муниципальному контракту для государственных или муниципальных нужд, принадлежат организации, выполняющей государственный или муниципальный контракт (исполнителю).

Заявка на выдачу патента на изобретение подается лицом, обладающим правом на получение патента заявителем.

Заявление о выдаче патента на изобретение представляется на русском языке. Прочие документы заявки представляются на русском или дру-

гом языке. Если документы заявки представлены на другом языке, к заявке прилагается их перевод на русский язык.

Заявление о выдаче патента на изобретение подписывается заявителем, а в случае подачи заявки через патентного поверенного или иного представителя - заявителем или его представителем, подающим заявку.

К заявке на выдачу патента на изобретение прилагается документ, подтверждающий уплату патентной пошлины в установленном размере, или документ, подтверждающий основания освобождения от уплаты патентной пошлины, либо уменьшения ее размера, либо отсрочки ее уплаты.

Заявка на выдачу патента на изобретение (заявка на изобретение) должна относиться к одному изобретению или к группе изобретений, связанных между собой настолько, что они образуют единый изобретательский замысел (требование единства изобретения).

Заявка на изобретение должна содержать:

1) заявление о выдаче патента с указанием автора изобретения и лица, на имя которого испрашивается патент, а также места жительства или места нахождения каждого из них;

2) описание изобретения, раскрывающее его с полнотой, достаточной для осуществления;

3) формулу изобретения, выражающую его сущность и полностью основанную на его описании;

4) чертежи и иные материалы, если они необходимы для понимания сущности изобретения;

5) реферат.

Датой подачи заявки на изобретение считается дата поступления в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности заявки, содержащей заявление о выдаче патента, описание изобретения и чертежи, если в описании на них имеется ссылка, а если указанные документы представлены не одновременно, - дата поступления последнего из документов.

Заявитель вправе внести в документы заявки на изобретение исправления и уточнения, в том числе путем подачи дополнительных материалов, до принятия по этой заявке решения о выдаче патента либо об отказе в выдаче патента, если эти исправления и уточнения не изменяют сущность заявленного изобретения.

Дополнительные материалы изменяют сущность заявленного изобретения, если они содержат признаки, подлежащие включению в формулу изобретения, не раскрытые на дату приоритета в документах, послуживших основанием для его установления, а также в формуле изобретения в случае, если на дату приоритета заявка содержала формулу изобретения.

Изменения сведений о заявителе, в том числе при передаче права на получение патента другому лицу либо вследствие изменения имени или наименования заявителя, а также исправления очевидных и технических ошибок могут быть внесены в документы заявки до регистрации изобретения.

Если изменения в документы заявки внесены по инициативе заявителя в течение двух месяцев со дня подачи заявки, патентная пошлина за внесение изменений не взимается.

Изменения, внесенные заявителем в документы заявки на изобретение, учитываются при публикации сведений о заявке, если такие изменения представлены в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности в течение двенадцати месяцев со дня подачи заявки.

До публикации сведений о заявке на изобретение, но не позднее даты принятия решения о выдаче патента на изобретение заявитель вправе преобразовать ее в заявку на полезную модель путем подачи в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности соответствующего заявления, за исключением случая, когда к заявке приложено заявление о предложении заключить договор об отчуждении патента.

Преобразование заявки на полезную модель в заявку на изобретение допускается до даты принятия решения о выдаче патента, а в случае принятия решения об отказе в выдаче патента - до того, как будет исчерпана возможность подачи возражения против этого решения.

В случае преобразования заявки на изобретение или полезную модель приоритет изобретения или полезной модели и дата подачи заявки сохраняются.

Заявитель вправе отозвать поданную им заявку на изобретение до регистрации изобретения в соответствующем реестре.

Приоритет изобретения устанавливается по дате подачи в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности заявки на изобретение.

Приоритет изобретения может быть установлен по дате поступления дополнительных материалов, если они оформлены заявителем в качестве самостоятельной заявки, которая подана до истечения трехмесячного срока со дня получения заявителем уведомления федерального органа исполнительной власти по интеллектуальной собственности о невозможности принять во внимание дополнительные материалы в связи с признанием их изменяющими сущность заявленного решения, и при условии, что на дату подачи такой самостоятельной заявки заявка, содержащая указанные дополнительные материалы, не отозвана и не признана отозванной.

Приоритет изобретения может быть установлен по дате подачи тем же заявителем в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности более ранней заявки, раскрывающей это изобретение при условии, что более ранняя заявка не отозвана и не признана отозванной на дату подачи заявки, по которой испрашивается такой приоритет, и заявка, по которой испрашивается приоритет, подана в течение двенадцати месяцев со дня подачи более ранней заявки на изобретение.

При подаче заявки, по которой испрашивается приоритет, более ранняя заявка признается отозванной.

Приоритет не может устанавливаться по дате подачи заявки, по которой уже испрашивался более ранний приоритет.

Приоритет изобретения по выделенной заявке устанавливается по дате подачи тем же заявителем в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности первоначальной заявки, раскрывающей это изобретение, а при наличии права на установление более раннего приоритета по первоначальной заявке - по дате этого приоритета при условии, что на дату подачи выделенной заявки первоначальная заявка на изобретение не отозвана, и не признана отозванной, и выделенная заявка подана до того, как исчерпана возможность подать возражение на решение об отказе в выдаче патента по первоначальной заявке, либо до даты регистрации изобретения, если по первоначальной заявке принято решение о выдаче патента.

Приоритет изобретения может быть установлен по дате подачи первой заявки на изобретение в государстве - участнике Парижской конвенции по охране промышленной собственности (конвенционный приоритет) при условии подачи в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности заявки на изобретение в течение двенадцати месяцев с указанной даты. Если по независящим от заявителя обстоятельствам заявка, по которой испрашивается конвенционный приоритет, не могла быть подана в указанный срок, этот срок может быть продлен федеральным органом исполнительной власти по интеллектуальной собственности, но не более чем на два месяца.

Заявитель, желающий воспользоваться правом конвенционного приоритета в отношении заявки на изобретение, должен сообщить об этом в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности и представить в этот федеральный орган заверенную копию первой заявки в течение шестнадцати месяцев со дня ее подачи в патентное ведомство государства - участника Парижской конвенции по охране промышленной собственности.

Если в процессе экспертизы установлено, что разными заявителями поданы заявки на идентичные изобретения и эти заявки имеют одну и ту же дату приоритета, патент на изобретение может быть выдан только по одной из таких заявок лицу, определяемому соглашением между заявителями.

В течение двенадцати месяцев со дня получения от федерального органа исполнительной власти по интеллектуальной собственности соответствующего уведомления заявители должны сообщить в этот федеральный орган о достигнутом ими соглашении.

При выдаче патента по одной из заявок все авторы, указанные в ней, признаются соавторами в отношении идентичных изобретений.

В случае, когда имеющие одну и ту же дату приоритета заявки на идентичные изобретения поданы одним и тем же заявителем, патент выдается по заявке, выбранной заявителем.

При совпадении дат приоритета изобретения и идентичной ему полезной модели, в отношении которых заявки на выдачу патентов поданы одним и тем же заявителем, после выдачи патента по одной из таких заявок выдача патента по другой заявке возможна только при условии подачи в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности

обладателем ранее выданного патента на идентичное изобретение или идентичную полезную модель заявления о прекращении действия этого патента. В этом случае действие ранее выданного патента прекращается со дня публикации сведений о выдаче патента по другой заявке.

По заявке на изобретение проводится формальная экспертиза, в процессе которой проверяются наличие документов, и их соответствие установленным требованиям.

В случае, когда заявителем представлены дополнительные материалы к заявке на изобретение проверяется, не изменяют ли они сущность заявленного изобретения.

Дополнительные материалы в части, изменяющей сущность заявленного изобретения, при рассмотрении заявки на изобретение во внимание не принимаются, но могут быть представлены заявителем в качестве самостоятельной заявки.

О положительном результате формальной экспертизы и о дате подачи заявки на изобретение федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности уведомляет заявителя незамедлительно после завершения формальной экспертизы.

Если заявка на изобретение не соответствует установленным требованиям к документам заявки, федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности направляет заявителю запрос с предложением в течение двух месяцев со дня получения им запроса представить исправленные или недостающие документы. Если заявитель в установленный срок не представит запрашиваемые документы или не подаст ходатайство о продлении этого срока, заявка признается отозванной. Этот срок может быть продлен, но не более чем на десять месяцев.

Если заявка на изобретение подана с нарушением требования единства изобретения, федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности предлагает заявителю в течение двух месяцев со дня получения им соответствующего уведомления сообщить, какое из заявленных изобретений должно рассматриваться, и при необходимости внести изменения в документы заявки. Другие заявленные в этой заявке изобретения могут быть оформлены выделенными заявками. Если заявитель в установленный срок не сообщит, какое из заявленных изобретений необходимо рассматривать, и не представит в случае необходимости соответствующие документы, рассматривается изобретение, указанное в формуле изобретения первым.

Федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности по истечении восемнадцати месяцев со дня подачи заявки на изобретение, прошедшей формальную экспертизу с положительным результатом, публикует в официальном бюллетене сведения о заявке на изобретение. Автор изобретения вправе отказаться быть упомянутым в качестве такового в публикуемых сведениях о заявке на изобретение.

По ходатайству заявителя, поданному до истечения двенадцати месяцев со дня подачи заявки на изобретение, федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности может опубликовать сведения о заявке до истечения восемнадцати месяцев со дня ее подачи.

Публикация не производится, если до истечения двенадцати месяцев со дня подачи заявки на изобретение она была отозвана или признана отозванной либо на ее основании состоялась регистрация изобретения.

Любое лицо после публикации сведений о заявке на изобретение вправе ознакомиться с документами заявки, если заявка не отозвана и не признана отозванной на дату публикации сведений о ней. Порядок ознакомления с документами заявки и выдачи копий таких документов устанавливается федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим нормативно-правовое регулирование в сфере интеллектуальной собственности.

В случае публикации сведений о заявке на изобретение, которая на дату публикации была отозвана или признана отозванной, такие сведения не включаются в уровень техники в отношении последующих заявок того же заявителя, поданных в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности до истечения двенадцати месяцев со дня публикации сведений о заявке на изобретение.

По ходатайству заявителя или третьих лиц, которое может быть подано в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности при подаче заявки на изобретение или в течение трех лет со дня подачи этой заявки, и при условии завершения формальной экспертизы этой заявки с положительным результатом проводится экспертиза заявки на изобретение по существу. О поступивших ходатайствах третьих лиц федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности уведомляет заявителя.

Срок подачи ходатайства о проведении экспертизы заявки на изобретение по существу может быть продлен по ходатайству заявителя, поданному до истечения этого срока, но не более чем на два месяца при условии представления вместе с ходатайством документа, подтверждающего уплату патентной пошлины.

Если ходатайство о проведении экспертизы заявки на изобретение по существу не подано в установленный срок, заявка признается отозванной.

Экспертиза заявки на изобретение по существу включает:

- информационный поиск в отношении заявленного изобретения для определения уровня техники, по сравнению с которым будет осуществляться оценка новизны и изобретательского уровня изобретения;

- проверку соответствия заявленного изобретения условиям патентоспособности.

По истечении шести месяцев со дня начала экспертизы заявки на изобретение по существу федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности направляет заявителю отчет об информационном поиске, если по такой заявке не испрашивается приоритет более ранний, чем

дата подачи заявки, и если ходатайство о проведении экспертизы заявки на изобретение по существу подано при подаче заявки.

Заявитель и третьи лица вправе ходатайствовать о проведении по заявке на изобретение, прошедшей формальную экспертизу с положительным результатом, информационного поиска для определения уровня техники, по сравнению с которым будет осуществляться оценка новизны и изобретательского уровня заявленного изобретения.

В процессе экспертизы заявки на изобретение по существу федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности может запросить у заявителя дополнительные материалы (в том числе измененную формулу изобретения), без которых проведение экспертизы невозможно. В этом случае дополнительные материалы без изменения сущности изобретения должны быть представлены в течение двух месяцев со дня получения заявителем запроса или копий материалов, противопоставленных заявке, при условии, что заявитель запросил указанные копии в течение месяца со дня получения им запроса указанного федерального органа. Если заявитель в установленный срок не представит запрашиваемые материалы или не подаст ходатайство о продлении этого срока, заявка признается отозванной. Срок, установленный для представления заявителем запрашиваемых материалов, может быть продлен не более чем на десять месяцев.

Если в результате экспертизы заявки на изобретение по существу установлено, что заявленное изобретение, выраженное формулой, предложенной заявителем, соответствует условиям патентоспособности федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности принимает решение о выдаче патента на изобретение с этой формулой. В решении указывается дата приоритета изобретения.

Если в процессе экспертизы заявки на изобретение по существу установлено, что заявленное изобретение, выраженное формулой, предложенной заявителем, не соответствует условиям патентоспособности федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности принимает решение об отказе в выдаче патента.

До принятия решения о выдаче патента или об отказе в выдаче патента федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности направляет заявителю уведомление о результатах проверки патентоспособности заявленного изобретения с предложением представить свои доводы по приведенным в уведомлении мотивам. Доводы заявителя учитываются при принятии решения, если они представлены в течение шести месяцев со дня получения им уведомления.

Решения федерального органа исполнительной власти по интеллектуальной собственности об отказе в выдаче патента на изобретение, о выдаче патента на изобретение или о признании заявки на изобретение отозванной могут быть оспорены заявителем путем подачи возражения в палату по патентным спорам в течение шести месяцев со дня получения им решения или запрошенных у указанного федерального органа копий материалов, противопоставленных заявке и указанных в решении об отказе в выдаче патента, при

условии, что заявитель запросил копии этих материалов в течение двух месяцев со дня получения решения, принятого по заявке на изобретение.

Заявитель вправе знакомиться со всеми относящимися к патентованию изобретений материалами, на которые имеется ссылка в запросах, отчетах, решениях, уведомлениях или иных документах, полученных им из федерального органа исполнительной власти по интеллектуальной собственности. Копии запрашиваемых заявителем в указанном федеральном органе патентных документов направляются ему в течение месяца со дня получения запроса.

Пропущенные заявителем основной или продленный срок представления документов или дополнительных материалов по запросу федерального органа исполнительной власти по интеллектуальной собственности, срок подачи ходатайства о проведении экспертизы заявки на изобретение по существу и срок подачи возражения в палату по патентным спорам могут быть восстановлены указанным федеральным органом при условии, что заявитель представит доказательства уважительности причин, по которым не был соблюден срок, и документ, подтверждающий уплату патентной пошлины.

Ходатайство о восстановлении пропущенного срока может быть подано заявителем в течение двенадцати месяцев со дня истечения установленного срока. Ходатайство подается в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности одновременно:

с документами или дополнительными материалами, для представления которых необходимо восстановление срока, либо с ходатайством о продлении срока представления этих документов или материалов;

либо с ходатайством о проведении экспертизы заявки на изобретение по существу;

либо с возражением в палату по патентным спорам.

Изобретению, на которое подана заявка в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности, со дня публикации сведений о заявке до даты публикации сведений о выдаче патента предоставляется временная правовая охрана в объеме опубликованной формулы изобретения.

Временная правовая охрана считается ненаступившей, если заявка на изобретение была отозвана или признана отозванной либо по заявке на изобретение принято решение об отказе в выдаче патента и возможность подачи возражения против этого решения исчерпана.

На основании решения о выдаче патента на изобретение федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности вносит изобретение в соответствующий государственный реестр - в Государственный реестр изобретений Российской Федерации и выдает патент на изобретение.

Если патент испрашивался на имя нескольких лиц, им выдается один патент.

Государственная регистрация изобретения и выдача патента осуществляются при условии уплаты соответствующей патентной пошлины. Если

заявителем не представлен в установленном порядке документ, подтверждающий уплату патентной пошлины, регистрация изобретения и выдача патента не осуществляются, а соответствующая заявка признается отозванной.

Федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности вносит исправления очевидных и технических ошибок в выданный патент на изобретение и (или) в соответствующий государственный реестр.

Федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности публикует в официальном бюллетене сведения о любых изменениях записей в государственных реестрах.

Федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности публикует в официальном бюллетене сведения о выдаче патента на изобретение, включающие имя автора (если автор не отказался быть упомянутым в качестве такового), имя или наименование патентообладателя, название и формулу изобретения.

Заявка на выдачу патента на изобретение, созданные в Российской Федерации, может быть подана в иностранном государстве или в международную организацию по истечении шести месяцев со дня подачи соответствующей заявки в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности, если в указанный срок заявитель не будет уведомлен о том, что в заявке содержатся сведения, составляющие государственную тайну. Заявка на изобретение может быть подана ранее указанного срока, но после проведения по просьбе заявителя проверки наличия в заявке сведений, составляющих государственную тайну.

Патентование в соответствии с Договором о патентной кооперации или Евразийской патентной конвенцией изобретения, созданных в Российской Федерации, допускается без предварительной подачи соответствующей заявки в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности, если заявка в соответствии с Договором о патентной кооперации (международная заявка) подана в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности как в получающее ведомство и Российская Федерация в ней указана в качестве государства, в котором заявитель намерен получить патент, а евразийская заявка подана через федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности.

В случае когда евразийский патент и патент Российской Федерации на идентичные изобретения или идентичные изобретение и полезную модель, имеющие одну и ту же дату приоритета, принадлежат разным патентообладателям, такие изобретения или изобретение и полезная модель могут использоваться только с соблюдением прав всех патентообладателей.

Если евразийский патент и патент Российской Федерации на идентичные изобретения или идентичные изобретение и полезную модель, имеющие одну и ту же дату приоритета, принадлежат одному и тому же лицу, это лицо может предоставить любому лицу право использования таких изобретений или изобретения и полезной модели по лицензионным договорам, заключенным на основе этих патентов.

Патент на изобретение может быть в течение срока его действия признан недействительным полностью или частично в случаях:

1) несоответствия изобретения условиям патентоспособности;

2) наличия в формуле изобретения признаков, отсутствовавших на дату подачи заявки в описании изобретения и в формуле изобретения (если заявка на изобретение на дату ее подачи содержала такую формулу);

3) выдачи патента при наличии нескольких заявок на идентичные изобретения, имеющих одну и ту же дату приоритета;

4) выдачи патента с указанием в нем в качестве автора или патентообладателя лица, не являющегося таковым, или без указания в патенте в качестве автора или патентообладателя лица, являющегося таковым.

Выдача патента на изобретение может быть оспорена любым лицом, которому стало известно о нарушениях путем подачи возражения в палату по патентным спорам.

Выдача патента на изобретение может быть оспорена в судебном порядке любым лицом, которому стало известно о нарушениях.

Патент на изобретение признается недействительным полностью или частично на основании решения федерального органа исполнительной власти по интеллектуальной собственности, или вступившего в законную силу решения суда.

В случае признания патента недействительным частично на изобретение выдается новый патент.

Патент на изобретение, признанный недействительным полностью или частично, аннулируется со дня подачи заявки на патент.

Лицензионные договоры, заключенные на основе патента, признанного впоследствии недействительным, сохраняют действие в той мере, в какой они были исполнены к моменту вынесения решения о недействительности патента.

Признание патента недействительным означает отмену решения федерального органа исполнительной власти по интеллектуальной собственности о выдаче патента на изобретение и аннулирование записи в соответствующем государственном реестре.

Действие патента на изобретение прекращается досрочно:

на основании заявления, поданного патентообладателем в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности, - со дня поступления заявления. Если патент выдан на группу изобретений, а заявление патентообладателя подано в отношении не всех входящих в группу объектов патентных прав, действие патента прекращается только в отношении изобретений, указанных в заявлении;

при неуплате в установленный срок патентной пошлины за поддержание патента на изобретение - со дня истечения установленного срока для уплаты патентной пошлины за поддержание патента в силе.

Действие патента на изобретение, которое было прекращено в связи с тем, что патентная пошлина за поддержание патента в силе не была уплачена

в установленный срок, может быть восстановлено федеральным органом исполнительной власти по интеллектуальной собственности по ходатайству лица, которому принадлежал патент. Ходатайство о восстановлении действия патента может быть подано в указанный федеральный орган в течение трех лет со дня истечения срока уплаты патентной пошлины, но до истечения срока действия патента. К ходатайству должен быть приложен документ, подтверждающий уплату в установленном размере патентной пошлины за восстановление действия патента.

Лицо, которое в период между датой прекращения действия патента на изобретение и датой публикации в официальном бюллетене федерального органа исполнительной власти по интеллектуальной собственности сведений о восстановлении действия патента начало использование изобретения, либо сделало в указанный период необходимые к этому приготовления, сохраняет право на дальнейшее его безвозмездное использование без расширения объема такого использования (право послепользования).

Споры, связанные с защитой патентных прав, рассматриваются судом. К таким спорам относятся, в частности, споры:

1) об авторстве изобретения;

2) об установлении патентообладателя;

3) о нарушении исключительного права на изобретение;

4) о заключении, об исполнении, об изменении и о прекращении договоров о передаче исключительного права (отчуждении патента) и лицензионных договоров на использование изобретения;

5) о праве преждепользования;

6) о праве послепользования;

7) о размере, сроке и порядке выплаты вознаграждения автору изобретения;

8) о размере, сроке и порядке выплаты предусмотренных компенсаций.

Защита патентных прав осуществляется и в административном порядке.

Патентообладатель вправе потребовать публикации в официальном бюллетене федерального органа исполнительной власти по интеллектуальной собственности решения суда о неправомерном использовании изобретения или об ином нарушении его прав.

ПРИМЕРЫ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСТВА
(ЗАЯВКИ НА ИЗОБРЕТЕНИЯ И ПОЛУЧЕННЫЕ ПАТЕНТЫ)

F27 B 1/00

СПОСОБ СЖИГАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА В ВАГРАНКЕ

Изобретение относится к производству строительных материалов и может быть применено при плавке неметаллических материалов в вагранке для получения из расплава каменного литья, шлаковаты.

Известно сжигание горючих газов в топочных устройствах (1. Сжигание горючих газов в топочных устройствах / Н.В. Лавров, В.М. Попов, Л.И. Истомин, А.К. Шубников. – М.- Л.: Издательство «Энергия», 1966, стр. 105-119; 2. Иссерлин А.С. Основы сжигания газового топлива: Справочное руководство. – Л.: Недра, 1980, стр. 137-193; 3. Использование газа в промышленных печах: Справочное руководство /Я.С. Глозштейн, Д.В. Карпов, Л.Н. Муромский, Н.В. Арапов. – Л.: Издательство «Недра», 1967, стр. 129-167; 4. Телегин А.С., Авдеева В.Г. Теплотехника и нагревательные устройства. – М.: Машиностроение, 1985, стр. 128-130; 5. Чепель В.М., Шур И.А. Сжигание газов в топках котлов и печей и обслуживание газового хозяйства предприятий. – 7-е изд., перераб. и доп. – Л.: Недра, 1980, стр. 320-334). Применяются в промышленности способы сжигания горючих газов, при которых обеспечивается контакт горючих составляющих газа с кислородом воздуха путем смешения газа с воздухом в горелке или в процессе горения, организовывается воспламенение смеси путем начального зажигания и непрерывное воспламенение новых порций газовоздушной смеси, создаются условия протекания процесса горения. Однако при известных способах сжигания газообразного топлива остаются пока проблемными получение устойчивого пламени, обладающего необходимыми для протекания технологического процесса свойствами и имеющего определенную длину, жесткость, светимость, уровень и поле распределения температур; согласование подвода тепловой энергии в технологический процесс с потребностью в ней; осуществление процесса сжигания газообразного топлива с наивысшим коэффициентом полезного действия. Нет рекомендаций по рациональным способам сжигания углеводородного топлива в вагранках.

Известен способ сжигания углеводородного топлива в вагранке, включающий подачу воздуха и углеводородного топлива в горелку, перемешивание топлива с воздухом и поджигание газовоздушной смеси (Новые, не выделяющие пыль металлургические печи / В.А. Грачев, А.А. Черный. – Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, № 8, 1992, стр. 60-63). При этом способе сжигания углеводородного топлива в газовой горелке вагранки газораспределительные трубы омываются горячим воздухом, в связи с чем движущийся по трубам горючий газ нагревается. Многоструйное распределение подогретого горючего газа в потоке горячего воздуха способствует стабилизации процесса горения, уменьшению длины факела и повышению температуры в нем. Недостатком является то, что природный газ не нагревается в газораспределительных трубах до такой температуры, при ко-

торой начинается разложение углеводородов на водород и углерод, а, следовательно, не была выявлена возможность дальнейшего улучшения показателей процессов сжигания и плавки.

Наиболее близким аналогом является способ сжигания углеводородного топлива из SU 1725020 A1, F23D14/00, 07.04.1992.

Известный способ сжигания углеводородного топлива осуществляется при использовании газовой горелки, содержащей воздушную камеру и сужающееся к выходному сечению воздушное сопло.

К воздушной камере со стороны, противоположной выходному сечению воздушного сопла, присоединена газовая камера, футерованная изнутри теплоизоляционными и огнеупорными материалами, с установленными в ней электродами для подвода электрического тока, между которыми помещен электродный кусковой материал, например, бой углеродсодержащих электродов, причем с одной стороны газовая камера снабжена трубой для подвода газообразного топлива, а с другой – трубой для отвода нагретого газа, проходящей через воздушную камеру и воздушное сопло. (Патент SU 1725020 A1, Газовая горелка, F23D 14/00, Бюл. № 3 от 07.04.92). Осуществляемый при использовании этой газовой горелки способ – сложный, не позволяет получать стабильные показатели по длине факела, и его излучательной способности, температуры в нем. Электродный углеродсодержащий кусковой материал расходуется неравномерно, на нем образуются частицы сажи при разложении углеводорода, уменьшающие размеры проходов для газов, между кусками углеродного материала образуются нестабильные электрические дуги, что снижают работоспособность устройства, следовательно, не достигается требуемое уменьшение длины факела, повышение температуры, необходимой для плавки в вагранке тугоплавких материалов и перегрева вязких расплавов.

Техническим решением является уменьшение длины факела, повышение температуры в вагранке для плавки тугоплавких материалов и перегрева вязких расплавов.

Предлагается способ сжигания углеводородного топлива в вагранке, включающий подачу воздушного потока и углеводородного топлива в горелочную систему, разложение углеводородного топлива на водород и углерод путем его нагрева, отличающийся от известного тем, что разложению на водород и углерод подвергают 3-28% углеводородного топлива путем нагрева его до температуры 325-550 º С, перемешивают полученные горячий водород и нагретые частицы углерода с неразложенным углеводородным топливом с образованием реакционно-активной топливной смеси, которую подают в воздушный поток при отношении скорости реакционно-активной топливной смеси к скорости воздушного потока 1,2 -3 и поджигают полученную смесь

Такое сочетание новых признаков с известными позволяет интенсифицировать процессы горения, уменьшить длину факела, повысить тепловое напряжение и температуру в факеле, увеличить температуру в вагранке, что позволяет плавить тугоплавкие материалы и достигать требуемого перегрева вязких расплавов для заливки неметаллических отливок.

Предлагаемый способ сжигания углеводородного топлива осуществляется следующим образом. В газовую горелку подают углеводородное топливо (природный газ). Стенки трубопроводов, по которым движется горючий газ, нагревают так, чтобы температура углеводородов (Т) повышалась до 325-550ºС. При этом разлагается (G) 3-28% углеводородов от массы подаваемого топлива на водород и углерод. В трубопроводах турбулизируют потоки, перемешивают горячий водород и нагретые частицы углерода с углеводородами топлива, образовывают реакционно-активную топливную смесь и эту смесь вводят в воздушный поток при отношении скорости горючей газовой смеси к скорости воздуха (W) 1,2-3.

В газораспределительных трубах горелочной системы ускорение нагрева газа, интенсификация турбулизации газовых потоков и перемешивания производилось за счет направления газов в трубопроводы переменного сечения. Нагрев газораспределительных труб производился горячими продуктами сгорания, нагретым воздухом, или применялся электронагрев. Реакционно-активная смесь вводилась в воздушный поток многоструйно. Газовые горелки располагались в нижней части газовой вагранки над подиной. Плавка шихты происходила на водоохлаждаемых, покрывающихся теплоизоляционным слоем колосниках, размещенных в шахте выше горелочных туннелей. На подине ниже горелочных туннелей образовывался бассейн, где высокотемпературными факелами перегревался расплавленный материал.

Короткие высокотемпературные факела омывают расплав в бассейне, перегревают материал до требуемой температуры для получения необходимой жидкотекучести расплава, а далее поступают в зону плавления шихты, где плавят материал, затем поднимаются вверх, нагревая загруженную твердую шихту. Поскольку предложенный способ позволяет достигать в нижней части шахты над бассейном температуры 1700-1850 ºС, то плавятся материалы с температурой выше 1680 ºС.

При температуре нагрева углеводородов природного газа до 300-325ºС мало образуется водорода и мелкодисперсного углерода, эффективность в повышении температуры продуктов сгорания, уменьшении длины факела, повышении температуры в вагранке не достигается. Но начиная с температуры нагрева углеводородов 325 ºС и выше (до 550ºС) разлагается от 3 до 28% углеводородов, что приводит к резкому ускорению процессов горения, повышению теплового напряжения и температуры в факеле и в вагранке. При температуре нагрева углеводородов выше 550ºС разлагается больше 28% углеводородов и активный атомарный водород соединяется, образовывая молекулу, а углерод, образующийся при разложении углеводородов из молекул и скоплений молекул, создает крупные частицы сажистого углерода, которые осаждаются на стенках нагреваемых газораспределительных труб, снижают теплопередачу, уменьшают сечения выходных для газа каналов, а это приводит к резкому ухудшению процессов горения и даже к прекращению горения, когда скопления частиц сажистого углерода полностью перекрывают выходные для газа каналы. Образующиеся при температуре нагрева углеводородов выше 550ºС молекулы водорода не способствуют активизации

процессов горения, так как при горении они должны разлагаться и образовывать атомарный водород, на что дополнительно расходуется теплота, в связи с чем снижается температура в факеле. При Т в пределах 325-550ºС и G 3-28% образуются преимущественно атомарный водород и молекулярный или в виде скоплений молекул углерод, которые при перемешивании с неразложенными горячими углеводородами топлива образовывают реакционно-активную топливную смесь. Ввод этой смеси в воздушный поток при отношении скорости горючей газовой смеси к скорости воздуха W 1,2-3 достигается эффективное, на коротком пути перемешивание горючего газа с воздухом-окислителем, что приводит к короткофакельному горению газовоздушной смеси. При $W < 1,2$ струи газа не глубоко проникают в воздушный поток, эффективность не достигается, а при $W > 3$ наблюдается неравномерное перемешивание газа с воздухом, факел удлиняется. Рационально выдерживать W в пределах 1,2-3.

При применении предложенного способа в горелку можно подавать холодный воздух или горячий. При подаче холодного воздуха-окислителя нагрев газа производят продуктами сгорания дополнительной горелки-запальника, размещенной вблизи от газораспределительных труб основной горелки. Подача в горелку горячего воздуха с температурой 600-700ºС позволяет обогревать стенки газораспределительных труб за счет частичного отбора тепла от воздуха, обтекающего газораспределительные трубы. Газораспределительные трубы можно обогревать, размещая вблизи от их стенок электронагреватели.

Сочетание новых признаков с известными позволяет достигать высоких температур в печи, плавить и перегревать тугоплавкие материалы (неметаллические материалы при получении из расплава каменного литья, шлаковаты).

Пример.

В вагранке, имеющей водоохлаждаемые трубы в шахте и газовую горелку над подиной ниже водоохлаждаемых труб, сжигали углеводороды в воздушном потоке. Углеводороды – природный газ, содержащий более 95% метана, до входа в воздушный поток, нагревали в газораспределительных трубах горелки от 300 до 570ºС. Воздух-окислитель подавали в горелку или холодный (при 20ºС) или горячий с температурой до 670ºС. При подаче холодного воздуха в горелку газораспределительные трубы обогревали продуктами сгорания отъемной малой горелки-запальника, а при вводе в горелку горячего воздуха выдерживали такую температуру воздуха, чтобы достигалась требуемая температура газа в газораспределительных трубах. Температуры газа и воздуха замерялись термопарами, вмонтированными в элементы газораспределения и подачи воздуха горелочной системы. Исходя из расходов газа и воздуха, площади выходных сечений газовыпускных каналов и выходного сечения горелки определялись скорости воздушных потоков и газовых струй, внедряющихся в воздушные потоки. Эти скорости пересчитывались на нормальные условия. Расход углеводородов – природного газа был 100 $м^3$/ч при нормальных условиях. Расход воздуха (Q) был максимальным

1000 м^3/ч в расчете на нормальные условия, причем он изменялся с 1000 м^3/ч при температуре воздуха-окислителя T_3 = 20ºС до 805 м^3/ч при T_3 = 670ºС в соответствии с зависимостью $Q = 1006 - 0{,}3 \cdot T_3$, что позволяло уменьшить потери тепла в связи с диссоциацией продуктов сгорания при их высоких температурах и достигать максимально возможных температур T_1 и T_2 при принятых условиях экспериментов. Количество разложившихся углеродов на водород и углерод определялось по температуре газа в газораспределительной трубе, исходя из зависимости, что метан начинает разлагаться при 300ºС и полностью разлагается на водород и углерод при температуре 1200ºС.

После розжига горелки в течение 1 часа производили прогрев шахты вагранки продуктами сгорания, после чего, регулируя расходы воздуха и газа, выводили вагранку на рабочий режим.

На водоохлаждаемые трубы загружали шихту и начинали плавку загруженного материала. Плавили куски шамотных огнеупоров и куски вагранночного шлака, температура плавления которых была 1650-1730ºС. Для снижения огнеупорности этих материалов и повышения жидкотекучести расплава в шихту добавляли 1-5% известняка от массы загружаемой шихты. Материалами шихты (бой шамотного кирпича и куски шлака) были отходы, образующиеся при работе и ремонтах производственных вагранок. Плавящаяся шихта изолировала расплавом водоолаждаемые трубы вагранки и по образующейся неметаллической корке, расплав стекал на подину вагранки, где создавался неглубокий бассейн в связи с приподнятой над подиной переходной (выпускной) леткой. Глубина бассейна была 30-50 мм. Расплав в бассейне омывался выходящими из горелки горячими газами, перегревался и выходил из вагранки в заливочное устройство. Полученным неметаллическим материалом заливали плиты, предназначенные для дачных дорожек. Эти плиты имели высокие показатели твердости, прочности, износостойкости. При работе горелки и вагранки производился замер термопарами температур в факеле (T_1) и над бассейном с жидким расплавом (T_2). В табл. приведены результаты испытаний.

Таблица

Варианты испытания предложенного способа	T, ºC	G, %	W	T_1, ºC	T_2, ºC
При горячем газе и холодном воздухе	325	3	1,2	1700	1680
			2	1720	1710
			3	1710	1700
	450	15	1,2	1750	1730
			2	1760	1750
			3	1740	1720
	550	28	1,2	1770	1750
			2	1780	1760
			3	1760	1750
При горячем газе и горячем воздухе	325	3	1,2	1730	1720
			2	1750	1730
			3	1740	1730
	450	15	1,2	1780	1770
			2	1800	1780
			3	1770	1760
	550	28	1,2	1790	1750
			2	1860	1850
			3	1800	1780

Исследования показали, что при $325 \le T \le 550$ºC, когда $3 \le G \le 28\%$, достигаются высокие температуры в факеле T_1 = 1700-1860ºC и в вагранке над бассейном с жидким расплавом T_2 = 1680 - 1850º C в пределах изменения $1{,}2 \le W \le 3$. Следовательно, изменение факторов T, G, W в указанных пределах позволяет достигать оптимальных результатов по температурам T_1 и T_2. Это связано с тем, что уменьшается длина горящего факела и повышается тепловое напряжение в его объеме. Достигается положительный эффект как при горячем газе и холодном воздухе, так и при горячем газе и горячем воздухе. При T < 325ºC, в частности при T = 300ºC не происходит разложение углеводородов природного газа и T_1, T_2 были ниже 1600º C. При T > 550 ºC (при T = 570 ºC) образовывались скопления сажистых (углеродных) частиц, которые перекрывали газовыпускные каналы, в связи с чем процесс горения нарушался. При W < 1,2 (W = 1,1) газ неглубоко проникал в воздушный поток, не происходило на коротком пути перемешивание газа с воздухом, в связи с чем факел резко удлинялся, температура в нем снижалась, а при W > 3 (W = 3,2) струи газа проскакивали через воздушный поток, происходило неравномерное распределение газа в воздухе, в связи с чем также удлинялся факел и снижалась температура в нем.

Следовательно, предлагаемый способ обеспечивает технический эффект и может быть осуществлен с помощью известных в технике средств.

Предлагаемый способ может быть использован при плавке чугуна и высокоуглеродистой стали (полупродукта) в газовой вагранке, а также может быть применен в высокотемпературных нагревательных подовых печах металлургической и стекольной промышленности.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ сжигания углеводородного топлива в вагранке, включающий подачу воздушного потока и углеводородного топлива в горелочную систему, разложение углеводородного топлива на водород и углерод путем его нагрева, отличающийся тем, что разложению на водород и углерод подвергают 3-28% углеводородного топлива путем нагрева его до температуры 325-550 ºС, перемешивают полученные горячий водород и нагретые частицы углерода с неразложенным углеводородным топливом с образованием реакционно-активной топливной смеси, которую подают в воздушный поток при отношении скорости реакционно-активной топливной смеси к скорости воздушного потока 1,2 -3 и поджигают полученную смесь.

Р Е Ф Е Р А Т

СПОСОБ СЖИГАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА В ВАГРАНКЕ

Использование: при производстве строительных материалов, в частности может быть примерно при плавке неметаллических материалов в вагранке для получения из расплава каменного литья, шлаковаты.

Сущность.

Производят сжигание углеводородного топлива в вагранке, при этом разлагают углеводородное топливо на водород и углерод путем его нагрева и подают воздушный поток и углеводородное топливо в горелочную систему. Разложению на водород и углерод подвергают 3-28% углеводородного топлива путем нагрева его до температуры 325-550 ºС, перемешивают полученные горячий водород и нагретые частицы углерода с неразложенным углеводородным топливом с образованием реакционно-активной топливной смеси, которую подают в воздушный поток при отношении скорости реакционно-активной топливной смеси к скорости воздушного потока 1,2 -3 и поджигают полученную смесь.

Это позволяет уменьшить длину факела, повысить температуру в вагранке для плавки тугоплавких материалов и перегрева вязких расплавов. Способ может быть использован для плавки чугуна и высокоуглеродистой стали в газовой вагранке.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2340855

СПОСОБ СЖИГАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА В ВАГРАНКЕ

Патентообладатель(ли): ***Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Пензенский Государственный Университет"(ПГУ) (RU)***

Автор(ы): ***см. на обороте***

Заявка № **2007113999**

Приоритет изобретения **13 апреля 2007 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации ***10 декабря 2008 г.***

Срок действия патента истекает **13 апреля 2027 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

F 22 B 1/26,
F 23 C 11/00

Устройство для получения парогазовой смеси

Предлагаемое устройство относится к строительной индустрии и может быть применено для нагрева строительных материалов, изделий, сооружений, тушения горящих веществ, получения электроэнергии.

Известны топочные устройства, горелки для сжигания топлива устройства получения пара в парогенераторах и водогрейных котлах, конструкции котлов с устройствами для нагрева воды путем теплопередачи через их стенки тепла от горящего снаружи топлива. (1. Эстеркин Р.И. Промышленные парогенерирующие установки. – Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1980, стр. 64-131. 2. Чепель В.М., Шур И.А. Сжигание газов в топках котлов и печей и обслуживание газового хозяйства предприятий. – 7-е изд., перераб. и доп. – Л.: Недра, 1980, стр. 284-453). В этих устройствах теплом, образующимся при сжигании топлива в топках, обогревают стенки парогенераторов, водогрейных котлов, теплообменников, по которым проходит вода. От нагретых стенок вода отбирает тепло, нагревается, испаряется, пар перегревается и направляется в тепловые агрегаты или потребителям, используется при производстве строительных материалов и изделий. Недостатками получения отдельно горящих продуктов сгорания и отдельно пара при нагреве стенок парогенераторов горячими продуктами сгорания топлива являются неэкономичность процессов, большие тепловые потери, низкий термический коэффициент полезного действия устройств, сложность процессов и устройств, не достигается экологическая чистота процессов.

Из известных устройств наиболее близким по технической сущности является устройство – камера сгорания с водяным охлаждением для парогазового цикла (Кондак М.А. Фронтовые устройства для камер сгорания газовых турбин // Теория и практика сжигания газа. II /Под ред. Д.Н. Ляховского.-Л.: Недра, 1964.- С.581,582, рис.7).

Камера сгорания выполнена сужающейся к выходному сечению. Она полностью экранирована трубками малого диаметра. Снижение температуры газа в камере осуществляется насыщенным паром до температуры 700-750˚С. Смесь газа и перегретого пара направляется в газовую турбину. К камере сгорания в расширенной части присоединена коробка, которая имеет цилиндрическую часть с трубопроводом (с запорным устройством) для подвода воздуха и следующую за цилиндрической частью расширяющуюся коническую часть, которая присоединена к расширенной части камеры сгорания. Цилиндрическая часть коробки имеет крышку, в которой аксиально размещены два трубопровода (один в другом) для подвода газа. Через трубопровод большего диаметра горючий газ подается в 6 радиально расположенных распределительных трубок и выходит через 12 отверстий ø 2 мм (по 6 с каждой стороны). Газораспределительные трубки установлены в выходном сече-

нии цилиндрической части воздушной коробки. Газ с воздухом смешивается в расширенной части коробки и газовоздушная смесь поступает в камеру сгорания, куда аксиально через центральную трубку подается дополнительно газ, т.е. камера имеет рассредоточенный подвод газа. В экранирующих камеру трубках малого диаметра образуется насыщенный пар, который поступает периферийно в продукты сгорания, снижая их температуру.

Это устройство позволяет получать парогазовую смесь, которую можно направлять в газовую турбину. Но периферийное распределение пара в продуктах горения удлиняет путь образования парогазовой смеси с требуемой температурой, не достигается равномерность распределения температур в парогазовом потоке.

Недостатки связаны и с несовершенством газодинамических процессов в сужающейся камере сгорания и периферийной подаче пара в поток горячих продуктов сгорания топлива. Следовательно, существенными недостатками являются неравномерность образования парогазовой смеси в поперечных сечениях камеры, неравномерность состава и температуры получаемой парогазовой смеси в выходном сечении, значительная длина пути перемешивания пара с горячими продуктами сгорания, наличие в выходящей парогазовой смеси капель и воды, недостаточная экономичность процесса и пониженный термический коэффициент полезного действия устройства для получения парогазовой смеси. Кроме того, при экранировании камеры сгорания трубками малого диаметра не достигается эффективное охлаждение стенок камеры, долговечность стенок не может быть высокой; металл стенок перегревается, возникают напряжения в металле, образуются трещины.

Техническим результатом устройства для получения парогазовой смеси и является интенсификация горения и образования парогазовой смеси на коротком пути, быстрое перемешивание горячего газа с водой, полное испарение воды, быстрое перемешивание водяного пара с продуктами сгорания топлива на коротком пути, образование на выходе равномерно перемешанной парогазовой смеси с требуемой температурой в выходном сечении устройства, эффективное охлаждение стенок водоохлаждаемой камеры устройства, повышение долговечности и термического коэффициента полезного действия парогазового агрегата.

Предлагаемое устройство для получения парогазовой смеси содержит топливо-, воздухоподводящие трубопроводы, сопло, запальник, водоохлаждаемую камеру сжигания и отличается от известного тем, что его водоохлаждаемая камера сжигания сделана ступенчатой, расширяющейся по направлению к выходному сечению и в каждой ступени камеры сжигания во внутренних стенках выполнены радиальные и следующие за ними периферийные аксиальные каналы-отверстия для выхода воды и направления ее в виде струй в горячие продукты сгорания топлива;

отличается от известного и тем, что его камера сжигания соединена с турбиной, а турбина соединена с электрогенератором;

отличается от известного и тем, что его камера сжигания соединена с турбиной, а турбина соединена с нагнетателем;

отличается от известного и тем, что оно снабжено отводными для парогазовой смеси трубопроводами.

Такое сочетание новых признаков с известными позволяет интенсифицировать процессы горения и перемешивания горячего газа с водой, испарения воды, образования парогазовой смеси без наличия неиспарившейся воды в смеси. Достигается эффективное охлаждение стенок водоохлаждаемой камеры устройства, повышается долговечность и термический коэффициент полезного действия парогазового агрегата. Можно получать на коротком пути парогазовую смесь с требуемой температурой, равномерного состава, без включений капель воды.

Предлагаемое устройство для получения парогазовой смеси показано на рисунке.

В устройство (рис.), содержащее топливоподводящий трубопровод 1, воздухопровод 2, сопло 3, запальник 4, водоохлаждаемую камеру сжигания 5, подают воздух-окислитель и топливо (газообразные углеводороды), с помощью запальника поджигают образующуюся смесь топлива с воздухом и после достижения стабильного горения через трубопровод 6 в пустотелую камеру сжигания 5 подают воду. В связи с тем, что водоохлаждаемая камера 5 сделана ступенчатой, расширяющейся по направлению к выходному сечению и в каждой ступени камеры сжигания во внутренней стенке выполнены радиальные каналы 7 и периферийные аксиальные каналы – отверстия 8 для выхода воды и направления (подачу) ее в виде струй в горячие продукты сгорания топлива, то выходящая струйно вода перемешивается с горячими продуктами сгорания и образуется парогазовая смесь.

В горячие продукты сгорания топлива вводят воду чередующимися радиальными и периферийными аксиальными струями (рис.), в связи с чем образуется парогазовая смесь на коротком пути, интенсивно охлаждаются стенки камеры сжигания, повышается долговечность устройства, увеличивается термический коэффициент полезного действия агрегата. В горячие продукты сгорания вводят воду до достижения на термометре температуры 600° С выходящей и используемой парогазовой смеси. При достижении требуемой температуры парогазовой смеси краном стабилизируют подачу воды. Ввод воды в камеру сжигания начинается струями там, где заканчивается окисление топлива и образуется высокотемпературные продукты сгорания (на расстоянии 10-50 диаметров сопла горелки-туннеля в выходном сечении), а заканчивается у выходного сечения камеры (на расстоянии 100-500 диаметров сопла - туннелей в выходном сечении), причем на начальном и конечном участках подача воды производится в минимальном количестве (10-20% от общего расхода воды). Максимальное количество воды поступает в продукты сгорания в средней части камеры сжигания (80-90% от общего расхода воды). Отверстия в стенках камеры сжигания рационально размещать так, чтобы струи воды выходили в шахматном порядке. Расстояние участка аксиальной водяной струи (от выходного сечения отверстия в стене) до начального участка соседней (последующей) радиальной струи воды находится в пределах 4-25 диаметра аксиальной струи в выходном сечении отверстия в стене.

Диаметр каждой расширенной части камеры находится в пределах 1,2-2,5 от диаметра предыдущей, менее расширенной части камеры. Скорость струйного истечения воды из отверстий стенок камеры должна быть в 1,2-4 раза больше скорости парогазового потока в соответствующей расширенной части камеры, в стенках которой размещены отверстия для выхода воды. В отводных патрубках выполнена запорная арматура и краны для слива воды в начальный период работы агрегата и в конце его работы.

Ступенчатое расширение камеры сжигания и чередование радиальных и периферийных аксиальных струй воды, проникающей в горячий газовый поток, способствуют образованию водогазовых и парогазовых вихрей, быстрому испарению воды, получению парогазовой смеси на коротком пути, уменьшению тепловых потерь, интенсивному охлаждению стенок водораспределительной камеры.

Образующуюся парогазовую смесь можно подавать через отводные трубопроводы 9 на нагреваемый материал, в нагреваемую жидкость, в теплообменник, в теплицу, в помещение и прогревать его поверхности, подавать на горящий материал и тушить пламя, подавать на лопатки турбины 10, причем в последнем случае камеру сжигания надо соединять с турбиной, а турбину – с нагнетателем или электрогенератором 11.

Выбор температуры парогазовой смеси обусловлен технологической или конструктивными особенностями устройств, использующих парогазовую смесь.

Радиальные 12 и аксиальные 13 струи воды (рис.), сталкиваясь, образуют вихревое движение капель воды и высокотемпературных продуктов сгорания вблизи от факела, выходящего из огнеупорного горелочного туннеля 14 (рис.), что ускоряет процесс образования парогазовой смеси равномерного состава у выходного сечения.

Устройство работает следующим образом.

Подают в горелку 3 (рис.) под давлением воздух, а затем по трубопроводу 1 газообразное (природный газ) или жидкое (керосин) топливо. На выходе из сопла горелки 3 топливо смешивается с воздухом и его поджигают с помощью электрического запальника, проходящего через топливоподающую трубу 4. После стабилизации процесса горения топлива подают воду на охлаждение камеры устройства 5. Вводят сначала небольшое количество воды в виде радиальных и аксиальных струй в горячие продукты сгорания, что способствует при небольшом снижении температуры газов дожиганию горючих веществ, улучшению горения, а затем выводят работу устройства на рабочий режим получения парогазовой смеси. С требуемой температурой подают нагретую парогазовую смесь в турбину или через отводные трубопроводы 9 потребителям. Парогазовую смесь полезно используют, направляя ее на обогреваемые материалы, нагреваемые поверхности. С валом турбины 10 соединен электрогенератор 11, позволяющий получать электроэнергию, или соединен нагнетатель для подачи под давлением жидкости или газа, что необходимо при строительстве.

Устройство для получения парогазовой смеси испытано и получены положительные результаты: в парогазовой смеси при температуре 500-600^{0}С в выходном сечении устройства нет капель воды, термический коэффициент полезного действия устройства при получении парогазовой смеси с температурой 500-600^{0}С достигает 85-90%, что в 1,5-3 раза больше по сравнению с применением известных устройств для получения перегретого пара и парогазовой смеси. Долговечность предлагаемого устройства, изготовленного из нержавеющей жаропрочной стали, выше долговечности известного устройства в 5-8 раз.

Выбор расходов топлива и воздуха-окислителя, скорости сжигания топливовоздушной смеси, температуры продуктов сгорания в факеле, расходов воды для подачи в горячие продукты сгорания в виде радиальных и аксиальных (периферийных) струй производится в зависимости от требуемого расхода получаемой парогазовой смеси и достижения требуемой температуры парогазовой смеси в выходном сечении устройства.

Пример.

Испытания проводились применительно к устройству для получения парогазовой смеси (рис.) и известному устройству по авторскому свидетельству СССР № 864898. В этих устройствах сжигали природный газ одинакового состава. Расход природного газа был 70 м^3/ч, а воздуха 700 м^3/ч. Природный газ подавался из газопровода при среднем давлении, а воздух поступал под давлением из воздуходувки. Расход воды для подачи в виде радиальных и аксиальных (периферийных) струй в горячие продукты сгорания определялся исходя из необходимости достижения температуры парогазовой смеси в выходном сечении устройства 200-600^{0}С. Температура продуктов сгорания в выходном сечении горелочного туннеля из высокоглиноземистого материала была 1500-1650^{0}С, температура подаваемой в камеру воды находилась в пределах 40-60^{0}С. Скорость газовоздушной смеси в выходном сечении сопла горелки была 40-70 м/с при нормальных условиях. Парогазовую смесь использовали для нагрева воды, воздуха в теплообменнике, нагрева строительных материалов, изделий, стен помещений при строительстве, тушения горящих материалов, подавали в турбину и получали электроэнергию или сжатый воздух из агрегатов, соединенных с валом турбины. Испытывали устройства в условиях дачного строительства, когда возникала необходимость широкого применения парогазовой смеси для различных целей при строительстве. Получали из предложенного устройства парогазовую смесь без включений капель воды.

Испытания показали высокую работоспособность и надежность предлагаемого устройства, простоту использования предлагаемых способа и устройства, их преимущества по сравнению с известными способами и устройствами, экономичность, экологическую чистоту, высокую долговечность, повышенный термический коэффициент полезного действия (до 90%).

Предлагаемое устройство для получения парогазовой смеси обеспечивает технический эффект и может быть осуществлено с помощью извест-

ных в технике средств. Введение новых элементов и связей между ними в устройстве обеспечивает решение поставленной задачи.

Предлагаемое устройство для получения парогазовой смеси позволяет интенсифицировать горение и образование парогазовой смеси на коротком пути (в 1,3-3 раза меньше, чем при применении известных способов и устройств). Наблюдается быстрое перемешивание горячего газа с водой, полное испарение воды, интенсивное перемешивание в вихрях водяного пара с горячими продуктами сгорания и усреднение температуры парогазовой смеси в выходном сечении устройства. В связи с эффективным охлаждением стенок камеры устройства в металле стенок не образуются трещины, повышаются долговечность устройства в 5-8 раз и термический коэффициент полезного действия парогазового агрегата в 1,5-3 раза.

Важные преимущества предложенного – небольшая металлоемкость устройства, простота работы устройства, малые размеры, быстро можно запускать устройство в работу и быстро останавливать его работу. Можно использовать жидкое топливо (нефтепродукты, спирт), сжиженный горючий газ. Окислителем может быть воздух или кислород, можно подавать и сжигать воздушно-топливную смесь. После длительной работы устройство можно останавливать, прочищать отверстия для выхода воды и отверстия топливно-распределительной системы, заменять горелочный туннель (огнеупорную трубку). Преимуществом устройства является также простой, хороший доступ для осмотра и ремонта стенок камеры, если это необходимо делать.

Предлагаемое устройство для получения парогазовой смеси может быть использовано для тушения горящих материалов, пожаров (без порчи материалов, изделий), для получения электроэнергии и приведения в движение мобильных систем, может быть использовано на электростанциях, в резервных установках для получения электроэнергии при авариях, в удаленных и труднодоступных местах, а также с целью улучшения экологических условий. Расход топлива на получение парогазовой смеси меньше в 2-4 раза по сравнению с известными способами и устройствами.

После использования парогазовую смесь рационально подавать в теплицы для выращивания растений, где поступающей по трубам парогазовой смесью можно обогревать грунт, а затем направлять в помещение теплицы, где образующийся из пара конденсат может быть использован для увлажнения воздуха и грунта, а углекислый газ при достаточном освещении может использоваться растениями как пища (в связи с фотосинтезом - химическим процессом в зеленых растениях, при котором вода и углекислый газ превращаются в кислород и продукты питания растений при помощи световой энергии). В результате этого можно полезно использовать водяной пар и углекислый газ, обогащать атмосферу кислородом. Применение предложенного устройства на тепловых электростанциях, работающих на газообразном и жидком топливе, позволит резко уменьшить расход топлива, упростить сооружение и эксплуатацию тепловых агрегатов, решить экологические проблемы, уменьшить опасность парникового эффекта в природе. Можно упро-

стить и сделать более экологически чистыми мобильные системы (автомобили, трактора, разнообразные транспортные средства).

Формула изобретения

1. Устройство для получения парогазовой смеси, содержащее топливо-, воздухоподводящие трубопроводы, сопло, запальник, водоохлаждаемую камеру сжигания, отличающееся тем, что его водоохлаждаемая камера сжигания сделана ступенчатой, расширяющейся по направлению к выходному сечению и в каждой ступени камеры сжигания во внутренних стенках выполнены радиальные и следующие за ними периферийные аксиальные каналы-отверстия для выхода воды и направления ее в виде струй в горячие продукты сгорания топлива.

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что его камера сжигания соединена с турбиной, а турбина соединена с электрогенератором.

3. Устройство по п.1, отличающееся тем, что его камера сжигания соединена с турбиной, а турбина соединена с нагнетателем.

4. Устройство по п.1, отличающееся тем, что оно снабжено отводными для парогазовой смеси трубопроводами.

Р Е Ф Е Р А Т

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ

Использование: для нагрева строительных материалов, изделий, сооружений, тушения горящих веществ, получения электроэнергии.

Сущность.

В горячие продукты сгорания топлива вводят воду чередующимися радиальными и периферийными аксиальными струями и образовывают на коротком пути парогазовую смесь, причем в горящие продукты сгорания топлива вводят воду до достижения на термометре температуры 600° С выходящей и используемой парогазовой смеси, стабилизируя краном подачу воды, полученную парогазовую смесь подают или на нагреваемый материал, или в нагреваемую жидкость, или в помещение и прогревают его поверхности, или на горящий материал и тушат ей пламя, или в теплообменник, или в теплицу, или на лопатки турбины. Парогазовую смесь получают в устройстве, содержащем топливо-, воздухоподводящие трубопроводы, сопло, запальник, водоохлаждаемую камеру сжигания. Водоохлаждаемая камера сжигания сделана ступенчатой, расширяющейся по направлению к выходному сечению и в каждой ступени камеры сжигания во внутренних стенках выполнены радиальные и следующие за ними периферийные аксиальные каналы-отверстия для выхода воды и направления ее в виде струй в горячие продукты сгорания. Камера сжигания соединена или с турбиной, а турбина соединена с электрогенератором или нагнетателем. Устройство снабжено отводными для парогазовой смеси трубопроводами. Предложенное устройство позволяет интенсифицировать процессы горения и перемешивания горячего газа с водой, испарения воды, образования парогазовой смеси без наличия неиспарившейся воды в смеси. Достигается эффективное охлаждение водоохлаждаемой камеры устройства, повышается долговечность и термический коэффициент полезного действия парогазового агрегата, можно получать на коротком пути парогазовую смесь с температурой до 600° С равномерного состава, без включений воды.

12 с. п. ф-лы, 1 илл.

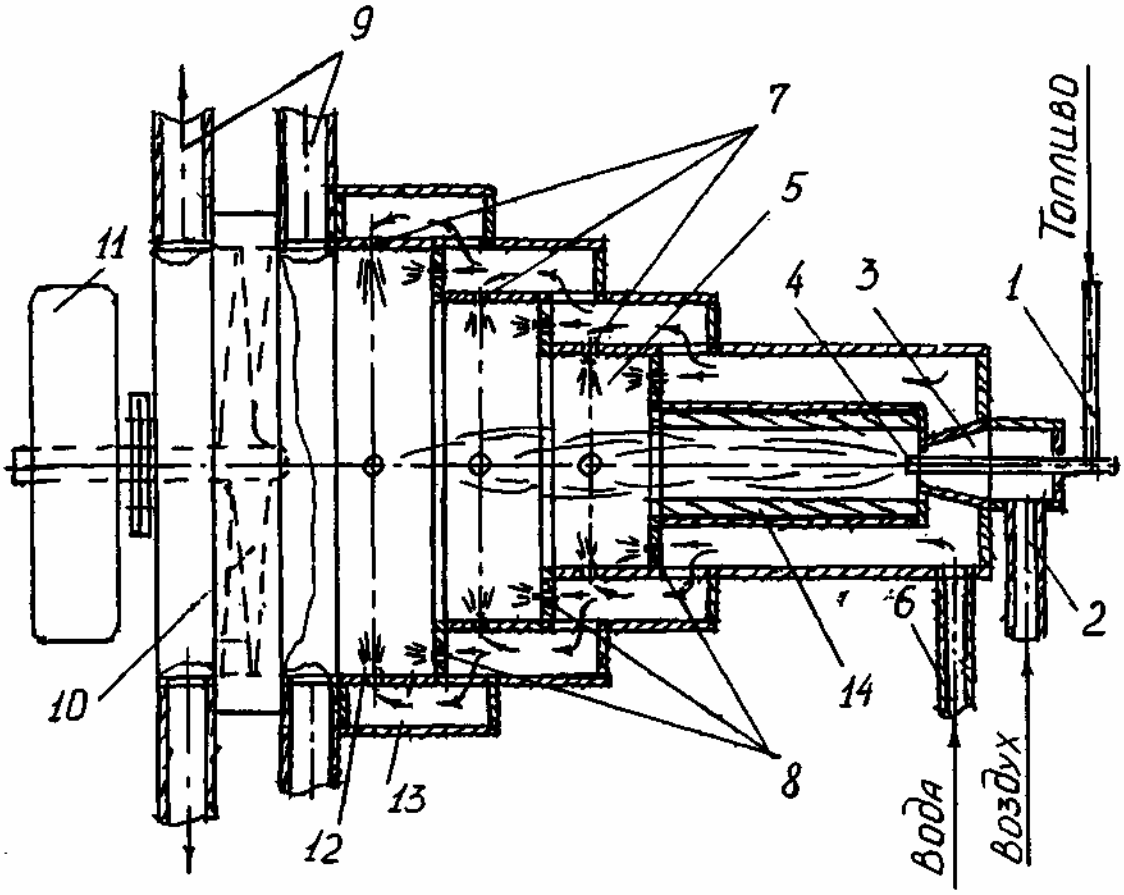


Рис.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2344342

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ

Патентообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Пензенский Государственный Университет" (ПГУ) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2007125189

Приоритет изобретения 03 июля 2007 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации *20 января 2009 г.*

Срок действия патента истекает 03 июля 2027 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

(19) RU (11) 2137845 (13) C1
(51) 6 C 21 C 1/08, F 27 B 1/08

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ
к патенту Российской Федерации

1

(21) 98114326/02 (22) 27.07.98
(24) 27.07.98
(46) 20.09.99 Бюл. № 26
(72) Грачев В.А., Горелов Н.А., Черный А.А., Аверьянов А.Н.
(71) (73) Пензенский государственный университет
(56) SU 472977, 05.06.75. SU 1700059 A, 23.12.91. SU 17005351 A, 15.01.92. RU 2055283 C, 27.02.96. RU 2055284 C, 27.03.97. RU 2077688 C, 20.04.97. RU 2092568 C, 10.10.97. DE 3904206 A, 12.04.83.
(98) 440017, Пенза, ул.Красная 40, Пензенский государственный университет

(54) ОГНЕУПОРНАЯ НАСАДКА ДЛЯ ГАЗОВОЙ ВАГРАНКИ

2

(57) Изобретение относится к области металлургии, точнее к разновидностям насадок, применяемых в газовых вагранках. Сущность изобретения: огнеупорная насадка для газовой вагранки состоит из боя огнеупоров и углеродсодержащего материала при следующем соотношении компонентов, вес.%: бой огнеупоров 40-60, кокс или древесный уголь, пропитанный высокоогнеупорным бетоном с борной кислотой, 40-60. Использование изобретения обеспечивает высокую стойкость насадки в высокотемпературных условиях. 1 з.п.ф-лы, 2 табл.

RU 2137845 C1

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Огнеупорная насадка для газовой вагранки, содержащая огнеупорный и углеродосодержащий материалы, *отличающаяся* тем, что в качестве огнеупорного материала используют бой высокоглиноземистых огнеупоров, а в качестве углеродосодержащего материала используют кокс или древесный уголь, пропитанный высокоогнеупорным бетоном с борной кислотой, при следующем соотношении, вес.%:

Бой высокоглиноземистых огнеупоров	40 - 60
Кокс или древесный уголь, пропитанный высокоогнеупорным бетоном с борной кислотой	40 - 60

2. Огнеупорная насадка по п.1, *отличающаяся* тем, что высокогнеупорный бетон содержит 2-4% борной кислоты.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2287022

СПОСОБ РАФИНИРОВАНИЯ МЕТАЛЛА

Патентообладатель(ли): ***Пензенский государственный университет (ПГУ) (RU)***

Автор(ы): ***Черный Анатолий Алексеевич (RU), Моргунов Владимир Николаевич (RU), Соломонидина Светлана Ивановна (RU)***

Заявка № **2005111103**

Приоритет изобретения **15 апреля 2005 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации ***10 ноября 2006 г.***

Срок действия патента истекает **15 апреля 2025 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 287 022** (13) **C1**

(51) МПК
C22B 9/10 (2006.01)
C21C 7/076 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 2005111103/02, 15.04.2005

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
15.04.2005

(45) Опубликовано: 10.11.2006 Бюл. № 31

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: SU 926049 A, 07.05.1982. SU 1060695 A1, 15.12.1983. SU 423851 A, 15.04.1974. RU 2139942 C1, 20.10.1999. DE 2205633 A, 12.07.1973.

Адрес для переписки:
440026, г.Пенза, ул. Красная, 40, Пензенский государственный университет

(72) Автор(ы):
Черный Анатолий Алексеевич (RU),
Моргунов Владимир Николаевич (RU),
Соломонидина Светлана Ивановна (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Пензенский государственный университет (ПГУ) (RU)

RU 2287022 C1

(54) СПОСОБ РАФИНИРОВАНИЯ МЕТАЛЛА

(57) Формула изобретения

Способ рафинирования металла, включающий отдельное расплавление металла и соли, отличающийся тем, что расплавленную соль, удельный вес которой меньше удельного веса металла в 1,5-10,5 раза, подвергают вибрации и в нее вливают расплавленный металл, причем чем меньше разность удельных весов соли и металла и меньше поверхность контакта соли и металла, тем с большей интенсивностью проводят вибрацию расплавленной соли.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2290381

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО КАМНЯ

Патентообладатель(ли): ***Пензенский государственный университет (ПГУ) (RU)***

Автор(ы): ***Черный Анатолий Алексеевич (RU), Черный Вадим Анатольевич (RU), Соломонидина Светлана Ивановна (RU)***

Заявка № **2005116384**

Приоритет изобретения **30 мая 2005 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации ***27 декабря 2006 г.***

Срок действия патента истекает **30 мая 2025 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 290 381** (13) **C1**

(51) МПК
C04B 32/00 (2006.01)
C03C 10/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 2005116384/03, 30.05.2005

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
30.05.2005

(45) Опубликовано: 27.12.2006 Бюл. № 36

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: SU 1010037 A1, 07.04.1983. US 3928047 A, 23.12.1975. SU 916455 A, 30.03.1982. RU 2154034 C1, 10.08.2000. US 4133666 A, 09.01.1979. SU 619453 A, 30.06.1978.

Адрес для переписки:
440026, г.Пенза, ул. Красная, 40, Пензенский Государственный Университет

(72) Автор(ы):
Черный Анатолий Алексеевич (RU),
Черный Вадим Анатольевич (RU),
Соломонидина Светлана Ивановна (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Пензенский государственный университет (ПГУ) (RU)

RU 2290381 C1

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО КАМНЯ

(57) Формула изобретения

Способ получения искусственного камня, включающий плавку неметаллических материалов, в частности вагранoчного шлака, отличающийся тем, что в расплав вагранoчного шлака с основностью 0,8 при температуре 1420°С вводят раздробленное цветное бутылочное стекло и блестящие неокисленные стальные опилки, например опилки нержавеющей стали, в количестве от 2 до 40% от массы расплава, причем так, чтобы стальные опилки были центрами кристаллизации, а частицы цветного стекла размещались в виде вкраплений между металлическими опилками, смесь перегревают до температуры 1430-1470°С и заливают в формы.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2360767

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВКИ

Патентообладатель(ли): ***Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Пензенский государственный университет" (ПГУ) (RU)***

Автор(ы): ***см. на обороте***

Заявка № **2008115043**

Приоритет изобретения **16 апреля 2008 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации ***10 июля 2009 г.***

Срок действия патента истекает **16 апреля 2028 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 360 767** (13) **C1**

(51) МПК
B22D 27/18 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: **2008115043/02, 16.04.2008**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
16.04.2008

(45) Опубликовано: **10.07.2009** Бюл. № **19**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2283724 C1, 20.09.2006. SU 724273 A, 30.03.1980. SU 662261 A, 18.05.1979. RU 2292253 C1, 27.01.2007.**

Адрес для переписки:
440026, г.Пенза, ул. Красная, 40, Пензенский государственный университет

(72) Автор(ы):
Черный Анатолий Алексеевич (RU),
Черный Вадим Анатольевич (RU),
Соломонидина Светлана Ивановна (RU),
Голотенков Олег Николаевич (RU),
Ковалева Анна Владимировна (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Пензенский государственный университет" (ПГУ) (RU)

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВКИ

(57) Формула изобретения

1. Способ получения отливки, включающий выполнение поверхностного слоя формы из смеси зернистого материала, температура плавления которого выше температуры плавления заливаемого материала, и материала, температура плавления которого ниже температуры плавления заливаемого материала, отличающийся тем, что в поверхностном слое формы, имеющем толщину требуемого пригара на отливке, создают каналы, суммарный объем которых равен 0,07-0,75 общего объема поверхностного слоя формы, а после создания каналов в форму заливают жидкий материал при температуре, составляющей 1,12-1,34 от температуры плавления этого материала, с образованием после затвердевания в форме залитого материала на поверхности отливки слоя пригоревшего материала в виде композита разнородных материалов.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что в поверхностном слое формы создают каналы путем наколов со стороны внутренней части формы на глубину требуемого пригара на отливке.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что в поверхностном слое формы создают каналы путем ввода в облицовочную смесь органических материалов, которые до заливки жидкого материла в форму выжигают.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что в поверхностном слое формы создают каналы путем ввода в облицовочную смесь раздробленных пористых материалов.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что в поверхностном слое формы создают каналы путем ввода в облицовочную смесь стружки легкоплавкого материала.

6. Способ по п.1, отличающийся тем, что в поверхностном слое формы создают

каналы путем прокладки в формовочном материале сетки из горючих нитей.

7. Способ по п.1, отличающийся тем, что в поверхностном слое формы создают каналы путем прокладки в формовочном материале легкоплавкой проволоки.

8. Способ по п.1, отличающийся тем, что в поверхностном слое формы создают каналы путем ввода в формовочную смесь термита, содержащего частицы железной окалины и алюминия.

9. Способ по п.1, отличающийся тем, что в поверхностном слое формы создают каналы путем выполнения глубоких борозд в формовочном материале после извлечения модели из формы.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2378087

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВКИ

Патентообладатель(ли): ***Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Пензенский государственный университет" (ПГУ) (RU)***

Автор(ы): ***см. на обороте***

Заявка № **2008141045**

Приоритет изобретения **15 октября 2008 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации ***10 января 2010 г.***

Срок действия патента истекает **15 октября 2028 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 378 087** (13) **C1**

(51) МПК
B22D 25/00 (2006.01)
B22D 27/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2008141045/02, 15.10.2008

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
15.10.2008

(45) Опубликовано: 10.01.2010 Бюл. № 1

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2292253 C1, 27.01.2007. SU 498092 A1, 13.07.1976. RU 2200074 C1, 10.03.2003. CN 101173332 A, 07.05.2008. JP 2005282728 A, 13.10.2005.

Адрес для переписки:
440026, г.Пенза, ул. Красная, 40, Пензенский государственный университет

(72) Автор(ы):
Черный Анатолий Алексеевич (RU),
Черный Вадим Анатольевич (RU),
Соломонидина Светлана Ивановна (RU),
Качелина Наталья Борисовна (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Пензенский государственный университет" (ПГУ) (RU)

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВКИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к литейному производству. Залитый в форму материал подвергают снизу ускоренному охлаждению для образования в нижней части отливки плотной структуры. Сверху материал барботируют газо-газотворными веществами материала для образования пористой структуры. Выдерживают скорость охлаждения материала в нижней части в 5-12 раз большей, чем в верхней. Давление проникающих в материал газов в верхней части увеличивают в 6-15 раз по сравнению с первоначальным давлением и выдерживают его максимальным в период затвердевания материала в форме. Обеспечивается снижение трудоемкости получения литых изделий с плотной и пористой частями материала в отливке.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2380325

СПОСОБ ПЛАВКИ В ГАЗОВОЙ ВАГРАНКЕ

Патентообладатель(ли): ***Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Пензенский государственный университет" (ПГУ) (RU)***

Автор(ы): ***см. на обороте***

Заявка № **2008144228**

Приоритет изобретения **06 ноября 2008 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации ***27 января 2010 г.***

Срок действия патента истекает **06 ноября 2028 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 380 325** (13) **C1**

(51) МПК
C03B 5/12 (2006.01)
F27B 1/08 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2008144228/03, 06.11.2008

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
06.11.2008

(45) Опубликовано: 27.01.2010 Бюл. № 3

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: SU 941823 A1, 07.07.1982. SU 1827511 A1, 15.07.1993. RU 2077688 C1, 20.04.1997. SU 409541 A1, 07.10.1981. GB 1169211 A, 29.10.1969.

Адрес для переписки:
440026, г.Пенза, ул. Красная, 40, Пензенский государственный университет

(72) Автор(ы):
Черный Анатолий Алексеевич (RU),
Черный Вадим Анатольевич (RU),
Соломонидина Светлана Ивановна (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Пензенский государственный университет" (ПГУ) (RU)

(54) СПОСОБ ПЛАВКИ В ГАЗОВОЙ ВАГРАНКЕ

(57) Реферат:

Изобретение относится к строительству и может быть использовано для получения расплава из неметаллических материалов при производстве изделий для строительства, в частности, для получения минеральной ваты. Техническим результатом изобретения является увеличение равномерности распределения горячих газов и перегреваемого расплава в холостой огнеупорной колоше газовой вагранки, улучшение теплопередачи от горячих газов расплаву, увеличение производительности и термического коэффициента полезного действия плавильного агрегата, снижение энергоемкости процесса плавки. Способ плавки в газовой вагранке включает разогрев футеровки шахты, загрузку холостой огнеупорной колоши, разогрев ее продуктами сгорания топлива, загрузку, нагрев и расплавление шихты. Холостую огнеупорную колошу создают путем загрузки в шахту огнеупоров с отверстиями, суммарная площадь входных и выходных сечений которых в загруженной холостой колоше равна 0,1-0,6 площади свободного поперечного сечения вагранки в зоне плавления шихты. При этом огнеупоры с отверстиями загружают так, чтобы объем пустот для прохождения горячих газов и расплава был бы равен 0,15-0,7 объема шахты, заполняемой холостой огнеупорной колошей. При работе газовой вагранки горячие продукты сгорания топлива и расплав пропускают преимущественно через отверстия огнеупоров холостой колоши.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2380613

СПОСОБ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА

Патентообладатель(ли): ***Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Пензенский государственный университет" (ПГУ) (RU)***

Автор(ы): ***см. на обороте***

Заявка № **2008120080**

Приоритет изобретения **20 мая 2008 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации ***27 января 2010 г.***

Срок действия патента истекает **20 мая 2028 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 380 613** (13) **C1**

(51) МПК
F23D 5/06 (2006.01)
F23C 99/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2008120080/06, 20.05.2008

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
20.05.2008

(45) Опубликовано: 27.01.2010 Бюл. № 3

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: GB 338235 A, 20.11.1930. SU 1560908 A1, 30.04.1990. SU 10506 A, 31.07.1929. FR 1053339 A, 02.02.1954.

Адрес для переписки:
440026, г.Пенза, ул. Красная, 40, Пензенский государственный университет

(72) Автор(ы):
Черный Анатолий Алексеевич (RU),
Черный Вадим Анатольевич (RU),
Соломонидина Светлана Ивановна (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Пензенский государственный университет" (ПГУ) (RU)

(54) СПОСОБ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА

(57) Реферат:

Изобретение относится к металлургии и энергетике. В предлагаемом способе сжигания топлива, включающем раздельную струйную подачу топлива и окислителя, создают процесс пленочного распределения и сжигания топлива, а именно подают струи топлива и окислителя на отдельные, наклоненные навстречу друг другу и отстоящие друг от друга пластины, создают удары струй о поверхности пластин так, чтобы образовывалось пленочное растекание при ударе о пластины топлива и окислителя и сход этих тонких пленок с поверхности пластин в пространство между пластинами, направляют пленку топлива к пленке окислителя, соединяют пленки в пространстве между пластинами, поджигают соединяющиеся пленки, образовывают горящие вихри за пределами пленок, нагревают горящим топливом в вихрях обратные стороны ударных пластин и за счет передачи теплоты через стенки пластин нагревают пленки топлива и окислителя перед их встречей, причем скорость истечения струй топлива и окислителя выдерживают в пределах 6-80 м/с, а угол соударения струй с пластиной выдерживают в пределах 92-120 градусов по направлению к сходу пленки при расстоянии выходного сечения сопла от места встречи струй с пластиной 4-25 диаметра сопла в выходном сечении и расстоянии от осевых линий струй в точке пересечения с поверхностью пластины до края пластины 2-15 диаметров сопла в выходном сечении с увеличением этого расстояния по мере увеличения от выходного сечения сопла до встречи с пластиной. Задача изобретения - повышение эффективности сжигания топлива, увеличение температуры в факеле, уменьшение длины факела, улучшение теплопередачи от факела нагреваемому материалу, повышение термического коэффициента полезного действия теплового устройства, уменьшение расхода топлива на нагрев материала. 1 ил.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему необходимо соблюдать патентные права?
2. Какие права принадлежат автору изобретения, полезной модели, промышленного образца?
3. Кто признается автором изобретения, полезной модели, промышленного образца?
4. Каковы объекты патентных прав?
5. Какие предусмотрены условия патентоспособности изобретения, полезной модели, промышленного образца?
6. Как осуществляется государственная регистрация изобретений, полезных моделей, промышленных образцов?
7. Что удостоверяет патент на изобретение, полезную модель, промышленный образец?
8. Какое может быть государственное стимулирование создания и использования изобретений, полезных моделей, промышленных образцов?
9. Относятся ли право авторства и право на получение патента к патентным правам?
10. Почему патентообладателю принадлежит право использования изобретения, полезной модели, промышленного образца?
11. Какие действия не являются нарушением исключительного права на изобретение, полезную модель, промышленный образец?
12. Какие особенности использования изобретения, полезной модели, промышленного образца в интересах национальной безопасности?
13. В каких случаях применяются право преждепользования, принудительные лицензии на изобретение, полезную модель, промышленный образец.
14. Какие сроки действия исключительных прав на изобретение, полезную модель, промышленный образец?
15. В каких случаях происходит переход изобретения, полезной модели, промышленного образца в общественное достояние?
16. Как выполняется распоряжение исключительным правом на изобретение, полезную модель, промышленный образец?
17. В каких случаях заключается лицензионный договор о предоставлении права использования изобретения, полезной модели, промышленного образца?
18. Почему предусмотрена открытая лицензия?
19. Что такое служебное изобретение, служебная полезная модель, служебный промышленный образец?
20. Если изобретение, полезная модель, промышленный образец созданы при выполнении работ по договору, то кто имеет право на получение патента?
21. Каковы особенности создания промышленного образца по заказу?

22. Как осуществляется получение патента, как оформляются и рассматриваются заявки на выдачу патента, как выполняется экспертиза заявки?
23. В каких случаях патент признается недействительным?
24. Как восстанавливается действие патента?
25. Если возникают споры, связанные с защитой патентных прав, то как они разрешаются?
26. Какие споры, связанные с защитой патентных прав, рассматриваются судом?
27. В каких случаях публикуются решения суда о нарушении патента?

Л И Т Е Р А Т У РА

1. Гражданский кодекс Российской Федерации №230-ФЗ от 18.12.2006. Принят: Государственной Думой 24 ноября 2006 года. Одобрен Советом Федерации 8 декабря 2006 года. Опубликовано: 22 декабря 2006г. Вступил в силу с 1 января 2008 г.
2. Интеллектуальная собственность/Под общ.ред.д.т.н.,проф. Н.М. Коршунова.-М.: Норма, 2005.-304с.
3. Черный А.А. Материалы и изделия, их улучшение на основе математического моделирования: учебное пособие/А.А.Черный, В.А.Черный.-Пенза: Информационно-издательский центр ПензГУ, 2008.-216с.
4. А.А.Черный, В.А.Черный. Изобретения и совершенствование на их основе процессов и материалов с применением математического моделирования: Учебн.пособие.-Пенза: Пенз.гос.ун-т, 2008-154с.
5. Патент №2340855 Российская Федерация. МПК F27B 1/08. Способ сжигания углеводородного топлива в вагранке [Текст]/Черный А.А., Черный В.А.,Соломонидина С.И., Фролова Т.Н.; заявитель и патентообладатель Пензенский государственный университет - №2007113999/02; Заявл. 13.04.2007; опубл. 10.12.2008. Бюл. №34-6с.
6. Патент №2344342 Российская Федерация. МПК F23C 99/00. Устройство для получения парогазовой смеси [Текст]/Черный А.А., Артемов И.И., Соломонидина С.И.; заявитель и патентообладатель Пензенский государственный университет - №2007125189/06; заявл. 03.07.2007; опубл. 20.01.2009. Бюл. №2-7с.
7. Скирута М.А., Комиссаров О.Ю. Инженерное творчество в легкой промышленности.-М.: Легпромбытиздат, 1990.-184с.
8. Черный А.А. Интеллектуальная собственность и ее защита (Патентные права): Учеб.пособие.-Пенза: Изд-во Пенз гос. Ун-та, 2009.-69с. (Электронное учебное пособие).

Анатолий Алексеевич Черный

ОСНОВЫ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСТВА И НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Учебное пособие

Пензенский государственный университет.
440026, Пенза, Красная, 40.