

УДК 658.511.5

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА (ОСОБО ТОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ СОВРЕМЕННЫХ БОЕВЫХ САМОЛЕТОВ).**

**А.Е.Битушан**

*Предлагаемая работа посвящена актуальной проблеме энергообеспечения основных производств двигателестроительных предприятий России. В работе рассматривается вопрос влияния качества энергообеспечения на эффективность производства особо точных высоко затратных деталей. В настоящее время парк станочного оборудования представлен импортными образцами, которые предъявляют очень высокие требования к качеству энергообеспечения. Для выполнения требований по качеству энергообеспечения необходимо внедрять специальные технические устройства и системы. В работе предлагается новая методика оценки эффективности внедрения технических средств, повышающих качество энергообеспечения.*

### **1. Факторы, влияющие на качество производимой продукции и ее себестоимость.**

Современное технологическое оборудование, используемое на Московском машиностроительном производственном предприятии (ММП) «САЛЮТ» для производства особо точных дорогостоящих деталей, обладает высокой степенью автоматизации при изготовлении продукции и существенно ограничивает роль человеческого фактора и его влияние на качество изделий. Тем не менее, роль человека в реальном производстве остается довольно заметной и значимой, особенно в вопросах качества и себестоимости выпускаемой продукции.

На конкретном примере производства ММП «САЛЮТ» рассмотрим основные факторы, отрицательно влияющие на качество изготавливаемых деталей и, в результате, увеличивающие их себестоимость:

- Ошибки при разработке программного обеспечения. Несмотря на то, что программа обработки каждой конкретной детали проходит предварительную отладку, тем не менее, отдельные неточности переходят на стадию серийного изготовления. Выявляются они лишь в процессе проведения контроля изготовленных деталей. Возможны ошибки, приводящие к браку (детали бракуются, программы их изготовления дорабатываются и заново запускается весь цикл производства).

- Ошибки станочника-оператора при установке режущего инструмента. Такого рода ошибки могут привести как к необходимости последующей доработки детали, так и к ее отбраковке.
- Установка некачественного режущего инструмента, либо установка инструмента, не предусмотренного технологическим процессом. В этом случае резко возрастает вероятность получения бракованной детали
- Использование в процессе обработки детали некачественной охлаждающей эмульсии или ее кратковременное отсутствие (по любым причинам). Охлаждение режущего инструмента в процессе обработки жаропрочных сталей или титана, является важнейшим элементом технологического процесса. Нарушения, имеющие место на производстве, как правило, зависят от станочника и могут также привести к браку.
- Отступления от требований ГОСТ по качеству питающего напряжения. Большая часть технологического оборудования начинает давать сбои в работе при несоблюдении этого требования. Сбой в работе станка из-за низкого качества питающего напряжения, как правило, ведет к браку.

Анализ приведенных факторов, влияющих на качество изготовления деталей, показывает, что факторы 1-4 связаны в основном с людьми, их отношением к порученному участку работы. На эти факторы можно влиять (уменьшать, исключать) административными, организационными и экономическими мерами. Значительно сложнее устранить (уменьшить) влияние последнего фактора. Этой проблеме и посвящается данная исследовательская работа.

## **2. Энергообеспечение технологического оборудования, производящего особо точные детали и его влияние на эффективность производства.**

Анализ технологии производства особо точных деталей, а также анализ технических характеристик современного станочного оборудования позволяет сделать ряд выводов о существенном влиянии энергообеспечения на эффективность производства. Как правило, при анализе экономических показателей эффективности производства деталей для двигателей этот существенный факт остается практически без внимания. Одной из главных целей исследования по теме данной статьи является выявление зависимости качества изготавливаемых деталей и издержек производства

от состояния энергообеспечения. Выше рассматривался парк современного станочного оборудования, как правило, зарубежного производства, без которого невозможно в настоящее время изготовление особо точных дорогостоящих деталей с длительным циклом изготовления.

Особенностью указанного парка станков является то, что все они построены с использованием процессоров в качестве основного управляющего и контролирующего элемента. Кроме того, такие станки имеют в своем составе и другие электромеханические системы, снабженные целым рядом защитных электронных устройств, позволяющих защищать эти элементы от нештатных ситуаций. Основная из этих ситуаций возникает в случае некачественного энергообеспечения. Анализ требований по питающему напряжению для этих станков выявил следующие группы:

1. С очень жестким допуском по питающему напряжению. Отклонение по питающему напряжению допускается в пределах  $\pm 3.5\%$
2. Допуск на отклонение питающего напряжения  $\pm 5\%$
3. Допуск на отклонение питающего напряжения  $\pm 6\%$
4. Допуск на отклонение питающего напряжения  $\pm 5\%$  -10%
5. Допуск на отклонение питающего напряжения  $\pm 10\%$

В процессе исследований по данной проблеме в течение года (с лета 2002 года по март 2003г.) были проведены замеры питающего напряжения и его отклонений в целом ряде цехов и участков ММПП «САЛЮТ». Исследования показали, что отклонения питающего напряжения имеют место как в пределах суток (для разных рабочих смен разное питающее напряжение), так и по временам года. В летнее время, как правило, напряжение повышенное, в зимнее время – пониженное. В абсолютных величинах проведенные замеры дали следующую картину: питающее напряжение (фазное) находится в пределах от 195 вольт до 242 вольт. В процессе замеров были выявлены также отдельные кратковременные просадки напряжения за величину 195 вольт, а также кратковременные всплески напряжения до 250 вольт. Таким образом, фактические отклонения питающего напряжения попадают в диапазон  $\pm 12\%$  от номинального.

Кроме отклонений питающего напряжения, выявленных в процессе исследования, были зафиксированы случаи остановки оборудования по следующим причинам:

- обрыв линии питания, вызванный различного рода ремонтными работами;

- короткие замыкания, приводившие к срабатыванию автоматических выключателей;
- повышенный уровень помех в нулевых проводниках.

Все вышеперечисленные недостатки в энергоснабжении приводили к срабатыванию систем защиты станочного оборудования, их останову в не запланированное по циклу изготовления время и, как следствие, к браку дорогостоящих деталей. По существу, в процессе исследования выявлено несоответствие питающего напряжения требованиям ГОСТ 13109-87. ГОСТом предусмотрено рассматривать продаваемую электрическую энергию, как товар с определенными параметрами (качеством). При этом регламентируются следующие параметры:

- уровень напряжения и его допустимые отклонения от нормы;
- частота;
- синусоидальность тока;
- уровень помех;
- другие специфические параметры.

В нашем исследуемом случае, помимо низкого качества питающего напряжения, имели место также технические причины и нештатные ситуации, связанные с обрывом линий питания.

Юридически любое предприятие имеет право, проведя контроль качества электроэнергии, предъявить претензии энергосистеме. Однако на практике зачастую эту проблему административным образом разрешить не удастся по ряду объективных причин. Например, из-за простоя или неравномерной загрузки большинства предприятий, напряжение в сети превышает норму, так как все сети были рассчитаны на полную загрузку током и соответствующие потери напряжения. Уменьшение частоты тока может быть связано с дефицитом топлива или мощностей в энергосистеме и не может быть изменено по желанию отдельных потребителей. Аварии в энергосистеме – явления случайные и не могут быть полностью устранены. Таким образом, даже если, периодически могут быть предъявлены обоснованные претензии к энергосистеме, по сути, это ничего не изменит в качестве подаваемой электроэнергии, а конкурирующих энергосистем в России пока нет.

Службой главного энергетика завода проводится целый ряд мероприятий, которые направлены на исключение аварийных ситуаций на территории завода.

Однако этих мер порой бывает недостаточно для предотвращения сбоев в работе технологического оборудования.

В связи с вышеизложенным, при разработке мер по повышению эффективности производства следует обратить особое внимание на мероприятия, которые будут способствовать улучшению энергообеспечения производства. Так, например, при производстве особо точных деталей –зубчатых колес, лопаток, дисков, трудоемкость (стоимость) которых высока, брак за счет сбоев в энергообеспечении имел место до настоящего времени. Учитывая реальную стоимость этих деталей, потери за год имевшие место, измеряются сотнями тысяч рублей, что недопустимо в современном производстве, так как потери приводят к срывам сроков выполнения контрактов, и соответственно к убыткам.

Кроме прямых потерь, появляются потери косвенные: это восстановление программного обеспечения, которое сбрасывается в случае непредвиденных отключений электроэнергии, это замена вышедшего из строя режущего инструмента, из-за нарушения режимов резания. Часто в таких случаях выходили из строя блоки управления различными агрегатами станка. Суммарно эти потери в год составляют также сотни тысяч рублей.

В процессе проведения исследования по повышению эффективности производства этим факторам и уделено особое внимание. В качестве базовых деталей для исследований были выбраны следующие:

- шестерня ведущая ;
- шестерня ведомая ;
- шестерня ;
- диск турбины низкого давления ;
- диск турбины высокого давления .

Оценка эффективности производства вышеперечисленных деталей с учетом имевших место отклонений по качеству энергообеспечения будет проведена в соответствующем разделе данной работы. В настоящей главе рассматриваются способы повышения качества электроэнергии и технические средства, которые позволят это сделать.

### **3. Способы повышения качества энергообеспечения**

## **технологического оборудования (включая оборудование для производства и контроля высокоточных деталей).**

Рассматривая вопросы влияния энергообеспечения на эффективность производства, следует более глубоко и детально остановиться на способах повышения качества электроэнергии, поступающей на подстанции завода и далее к станочному оборудованию. Выше упоминалось о показателях качества электроэнергии, предусмотренных ГОСТ 13109-87, следует также коротко сказать и о надежности электроснабжения, как о важнейшем критерии в оценке эффективности производства деталей для двигателей.

Рассмотрим ряд положений, изложенных в «Правилах устройства электроустановок» (ПУЭ), применительно к ММПП «САЛЮТ».

В отношении обеспечения надежности электроснабжения электроприемники разделяются на три категории.

Технологическое оборудование ММПП «САЛЮТ», предназначенное для производства особо точных дорогостоящих деталей, в том числе с длительным циклом изготовления, относится к I категории.

Электроприемники I категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания (0,2 – 0,5с). На практике системы АВР (автоматическое включение резерва) оказались неприемлемыми в аварийных ситуациях, которые имели место. Перерыв в 0,2 – 0,5с оказался слишком велик, и процессоры станков останавливали процесс обработки в самое неподходящее время, приводя к браку дорогостоящих деталей. Согласно ПУЭ, если резервированием электроснабжения нельзя обеспечить необходимой непрерывности технологического процесса или, если резервирование электроснабжения экономически нецелесообразно, должно быть осуществлено технологическое резервирование, например, путем установки взаимно резервирующих технологических агрегатов, специальных устройств безаварийной остановки технологического процесса[1].

Первое предложение для ММПП «САЛЮТ» - неприемлемо, второе (специальные устройства безаварийной остановки), например, источники бесперебойного питания зарубежного производства – слишком дороги. Так, например, ИБП на нагрузку 150

кВА (для крупного станка) без дизельного генератора стоит 65 – 70 тыс. у.е. и при этом в случае аварийной ситуации может обеспечить работу станка 15 – 20 мин. На ММПП «САЛЮТ» имеются образцы такой техники, но обеспечить все ответственные станки ИБП для завода экономически невыгодно.

Электроснабжение электроприемников I категории с особо сложным непрерывным технологическим процессом, требующим длительного времени на восстановление рабочего режима, при наличии технико-экономических обоснований рекомендуется осуществлять от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, к которым предъявляются дополнительные требования, определяемые особенностями технологического процесса, в частности необходимо при переключениях исключить перерыв в электроснабжении путем применения третьего независимого взаимно резервирующего источника питания [1].

В качестве третьего независимого источника питания могут быть использованы местные электростанции, электростанции энергосистем, специальные агрегаты бесперебойного питания с дизельными генераторами.

Эффективность применения на ММПП «САЛЮТ» таких технических решений заслуживает отдельного исследования.

К теме настоящей статьи это направление исследования не имеет отношения, поэтому, подводя итог сказанному выше, следует отметить, что целый ряд станков, на которых изготавливаются особо ответственные дорогостоящие детали необходимо отнести по надежности к особой группе электроприемников I категории и найти способы реализовать это экономически выгодными для завода техническими решениями.

Рассмотрим более детально способы повышения качества энергообеспечения станочного оборудования, на котором изготавливают особо точные дорогостоящие детали, приведенные выше.

Для электрических сетей следует предусматривать технические мероприятия по обеспечению качества напряжения электротехнической энергии в соответствии с требованиями ГОСТ 13109-87 «Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения».

В качестве первой меры (способа) повышения качества электрической энергии следует рассмотреть компенсацию реактивной мощности.

В соответствии с ПУЭ устройства компенсации реактивной мощности, устанавливаемые у потребителя, должны обеспечивать потребление от энергосистемы

реактивной мощности в пределах, указанных в условиях на присоединение электроустановок этого потребителя к энергосистеме. Так как энергосистема является монополистом, то она и диктует потребителю, где и сколько устанавливать компенсирующих установок. Как правило, их ставят на подстанциях, тем самым улучшая эксплуатацию сетей энергосистемы, а не потребителя.

Потребители в большинстве своем не придают значения вопросам компенсации реактивной мощности своего электрооборудования. А именно здесь скрыты огромные резервы повышения качества энергоснабжения и повышения эффективности за счет снижения эксплуатационных расходов.

Проведенные исследования [2, 3] показали, что обоснованно выбранные (путем расчета) устройства компенсации конкретного электрооборудования с длительными циклами эксплуатации (электродвигатели, электродвигатели в составе станочного оборудования и др.), установленные в непосредственной близости с указанным оборудованием, позволяют получить следующие результаты:

- уменьшается потребление тока из сети на 20-25%;
- потери электроэнергии в питающей сети снижаются на 40-45%;
- система электродвигатель плюс устройство компенсации становится чисто активной нагрузкой с  $\cos \varphi \approx 1$ ;
- таким способом можно разгрузить питающий трансформатор на 20-25%;
- существенно улучшить качество питающего напряжения (уменьшаются просадки) за счет разгрузки сетей и улучшения работы коммутационных аппаратов (ниже токи – лучше работают контакты);
- резко снижаются эксплуатационные расходы на восстановление коммутационных аппаратов, замену проводников и др.

Выше приведенные ожидаемые положительные результаты применения устройств компенсации реактивной мощности, позволяют сделать заключение о важности этого мероприятия для ММПП «САЛЮТ» с его огромным энергохозяйством. Повышение качества энергообеспечения заметно отразится на работе технологического оборудования и позволит повысить эффективность производства особо точных дорогостоящих деталей для двигателей.

В качестве другого способа регулирования напряжения рассмотрим регулирование на вводных трансформаторных подстанциях (ТП). Имеющиеся на ТП устройства регулирования напряжения позволяют ступенчато регулировать его в пределах  $\pm 16\%$  от номинального значения. Использование на предприятиях подобных



трансформаторов было вызвано необходимостью централизованного регулирования напряжения, которое считалось наиболее экономичным. Однако практика эксплуатации таких трансформаторов выявила их низкую надежность, особенно в зимнее время. Кроме того, исследования показали, что на многих промышленных предприятиях эффективность централизованного регулирования очень низка. Она зависит от удаленности потребителей электроэнергии от трансформаторов, степени корреляции нагрузок, питающихся от этих трансформаторов, экономических характеристик электроприемников. Степень корреляции (однородности) нагрузок двух присоединений  $X$  и  $Y$  оценивается коэффициентом корреляции:

$$r_{XY} = K_{XY} / (\sigma_X \sigma_Y) \quad (1)$$

где  $K_{XY}$  - корреляционный момент изменения случайных нагрузок этих двух присоединений;  $\sigma_X \sigma_Y$  - стандарты случайных величин нагрузок  $X$  и  $Y$ .

Коэффициент корреляции может изменяться в пределах  $-1 \leq r_{XY} \leq 1$ . Ранее проведенные исследования [2, 3] показывают, что централизованное регулирование эффективно в том случае, если  $r_{XY} > 0,4$ , т.е. при большой однородности графиков нагрузки потребителей, питающихся от трансформаторов. На крупных предприятиях с большим количеством разнообразных электроприемников и цехов это условие обычно не выполняется. В [2, 3] показано, что для выбора оптимальных методов регулирования напряжения необходимо построение экономических характеристик узлов нагрузки.

Под экономической характеристикой узла нагрузки понимается зависимость ущерба от отклонения напряжения для всех присоединенных к данному узлу электроприемников. Методы построения экономических характеристик изложены в

[2,3]. Для ММПП «САЛЮТ» централизованное регулирование напряжения неэффективно, так как для одних станков оптимальным будет напряжение выше номинального, а для других – ниже номинального. Поэтому необходимо шире применять средства местного регулирования напряжения, как для групп оборудования, так и индивидуально. Таким образом, переходим к другому способу повышения качества напряжения – средствам местного регулирования.

Индивидуальные устройства регулирования напряжения должны обеспечивать поддержание напряжения на нагрузке в заданных для нее пределах. Так, например, средства индивидуального регулирования напряжения для станочного парка ММПП «САЛЮТ» должны обеспечивать нормальную работу оборудования при отключении фазного напряжения в диапазоне 195 – 245В.

Большое внимание индивидуальным средствам стабилизации уделяют ведущие зарубежные фирмы. Так, фирма «Сименс» выпускает электроприемники с индивидуальными средствами стабилизации, которые могут работать в сетях с отклонениями напряжения  $\pm 15\%$   $U_{ном}$ . Побуждает к выпуску подобных электроприемников стандарт Международной электротехнической комиссии, согласно которому в сетях до 1000В допускаются отклонения напряжения в пределах от  $-15\%$  до  $+10\%$   $U_{ном}$ [1].

Организация эффективного производства высокоточных дорогостоящих деталей невозможна без использования современного технологического оборудования на базе процессорной техники. Современное технологическое оборудование, как правило, зарубежного производства создано под определенные требования к качеству питающего напряжения. В большинстве случаев наши отечественные сети не обеспечивают требуемого качества по питающему напряжению. В такой ситуации требуются индивидуальные средства регулирования напряжения. В настоящее время ряд отечественных производителей выпускает устройства контроля и регулирования напряжения, используя для этих целей известные принципы регулирования. Эти стабилизаторы искажают синусоиду напряжения на нагрузке, имеют большие массо-габаритные характеристики, а также ряд других недостатков, которые не позволяют их применять для регулирования напряжения на станках с ЧПУ. Из множества стабилизаторов, предлагаемых на отечественном рынке, остановимся на трех наиболее современных, выпускаемых предприятиями :

- ЗАО «ТЭНСИ-ТЕХНО», (г. Тула),
- ООО «НПП ИНТЕПС», (г. Псков),
- ООО ПКП «ФЭЛТ» (г. Обнинск).

Лучшими для эксплуатации на ММП «САЛЮТ» были признаны регуляторы переменного напряжения (РПН) выпускаемые ООО ПКП «ФЭЛТ». Автором разработана методика оценки эффективности применения РПН на ММП «САЛЮТ» по результатам их опытной эксплуатации с июня 2002 года до настоящего времени .

#### **4. Методика оценки эффективности применения технических средств, повышающих качество энергоснабжения по результатам их опытной эксплуатации в промышленном производстве**

В рыночной экономике любое высокотехнологичное предприятие самостоятельно определяет рациональные варианты всех составляющих производственно-финансовой деятельности на основе баланса интересов производителей и потребителей выпускаемой наукоемкой продукции. При этом экономической оценкой эффективности варианта мероприятий является прибыль предприятия, остающаяся в его распоряжении. Поэтому основной задачей двигателестроительных предприятий в условиях рынка является повышение эффективности их функционирования путем оптимизации использования всех видов ресурсов. Именно эти принципы и легли в основу построения рассмотренных ниже алгоритма и экономико-математических моделей.

Ключевым вопросом при оптимизации деятельности двигателестроительного предприятия является построение его производственной программы с учетом наиболее рационального использования ресурсов. Для определения объемов прибыли от реализации вариантов производственной программы необходимо иметь данные о цене реализации продукции и себестоимости ее изготовления, а также данные об объеме выпуска продукции по каждой номенклатуре изделия.

При осуществлении экономической оценки вариантов финансирования работ по приобретению нового или модернизации действующего оборудования, наилучшим вариантом признается тот, который обеспечивает, во-первых, наибольшую эффективность от использования на проведение мероприятия ресурсов и, во-вторых, обеспечивающий его участникам наибольшую рентабельность производства.

Очевидно, что в каждом из случаев расширения производства, перевооружения предприятия, перехода на выпуск новой продукции встает вопрос необходимости дополнительных инвестиций. При этом инвестиции могут осуществляться как самим предприятием, его собственниками, так и сторонними кредитными организациями. Поэтому основной целью, которая ставится при моделировании, является получение оптимального решения задачи. Под оптимальным решением понимается получение предприятием максимальной прибыли путем сокращения брака при производстве особо точных, дорогостоящих деталей.

Предлагаемая автором методика оценки эффективности применения технических средств, повышающих качество энергоснабжения, позволяет применять эту методику всем высокотехнологичным двигателестроительным предприятиям, которые смогли начать перевооружение своих предприятий и приобрести дорогое импортное станочное оборудование. Необходимость покупки импортного станочного оборудования вызвана

тем, что парк отечественного оборудования создавался, как минимум, 25 лет назад и на современном этапе развития двигателестроения его можно считать морально устаревшим.

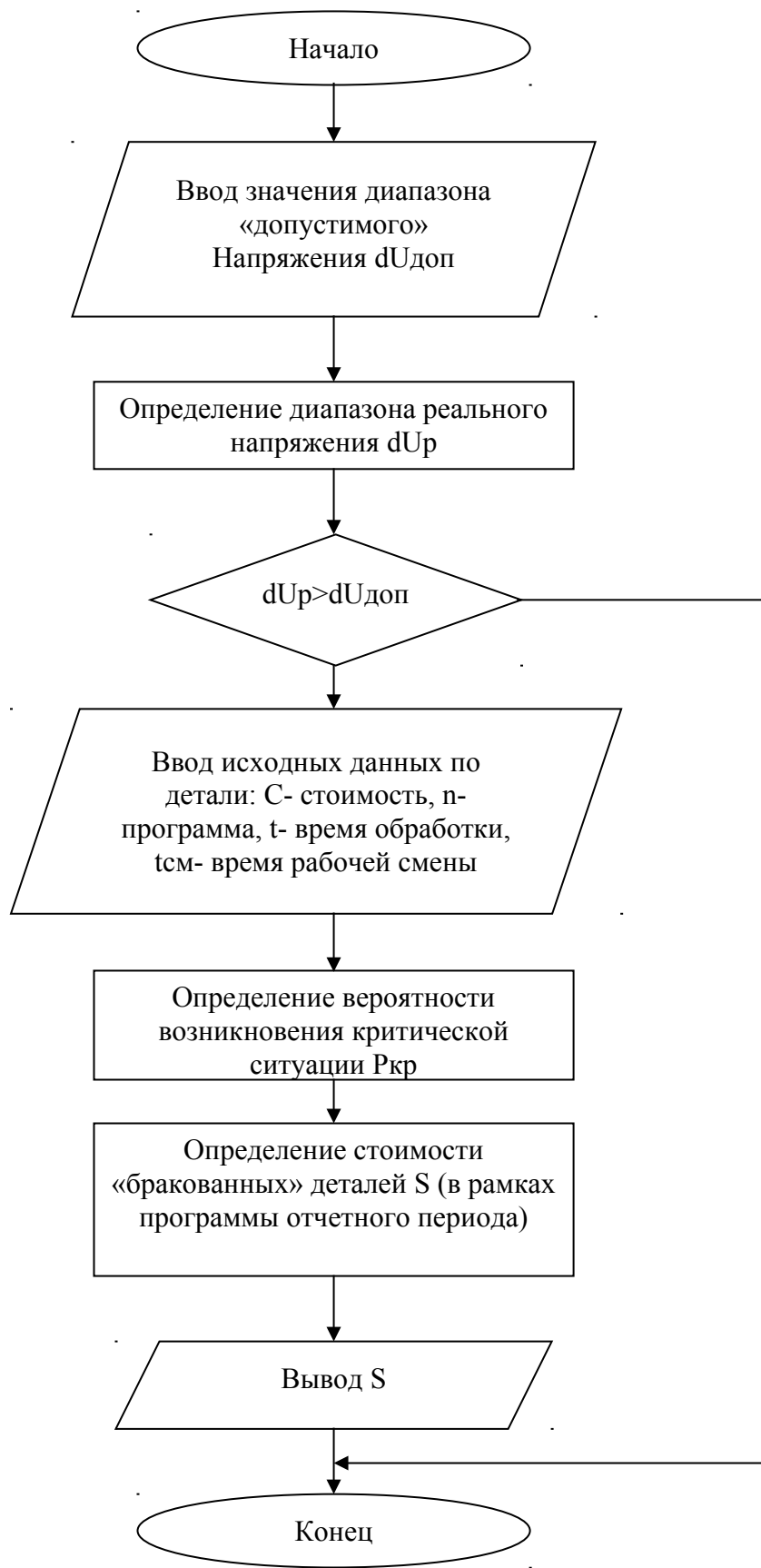
Методика разрабатывалась в ходе опытной эксплуатации на ММПП «САЛЮТ» в период с июня 2002 по март 2003 года технических устройств – регуляторов переменного напряжения, позволивших, не один раз, спасти дорогостоящие детали от брака, а дорогое оборудование от поломки и сбоя программного обеспечения.

Для наглядности автор представил методику оценки эффективности внедрения регуляторов переменного напряжения в виде двух блок-схем с подробным описанием каждого шага. Первая блок-схема позволяет на основе общих данных двигателестроительного предприятия провести диагностику энергообеспечения и оценить необходимость применения технических средств для повышения качества энергообеспечения персонально для каждой единицы технологического оборудования. На второй блок-схеме представлена оценка экономической эффективности внедрения технических средств для повышения качества энергообеспечения.

В основу моделирования производственно-хозяйственной деятельности предприятия легло решение задачи определения брака путем моделирования возникновения на производстве критических ситуаций, связанных с резкими перепадами напряжения в питающей сети.

Использование предложенных автором экономико-математических моделей предназначено преимущественно для средних и крупных двигателестроительных предприятий авиационной промышленности, имеющих мелкосерийное и серийное производство, производящих разнообразную номенклатуру наукоемкой продукции и имеющих большое количество видов используемых в производстве материально-сырьевых ресурсов.

Итак, рассмотрим блок-схемы созданной методики оценки эффективности применения технических средств для повышения качества энергоснабжения:



## Рис 1. Блок-схема определения стоимости бракованных деталей

Рассмотрим представленную выше блок-схему детально:

**1 шаг:** определение диапазона «допустимого» напряжения для станка. На этом шаге мы должны ознакомиться с технической документацией каждого станка и установить диапазоны питающего напряжения, гарантирующие стабильную работу. Обычно это «паспортные» данные оборудования.

**2 шаг:** определение диапазона «реального» напряжения. На этом шаге мы измеряем реальное напряжение питающей сети. Измерения целесообразно проводить непрерывным образом в течение одних, а может быть и нескольких, суток. Ниже приводим таблицу, содержащую значения «реального» напряжения, полученные в результате экспериментального измерения в течение одного рабочего дня на ММП «САЛЮТ» в одном из цехов основного производства:

t, ч	U, В	t, ч	U, В	t, ч	U, В	t, ч	U, В
время	напряжение	время	напряжение	время	напряжение	время	напряжение
7-00	209	11-00	228	15-00	217	19-00	205
7-30	213	11-30	230	15-30	211	19-30	208
8-00	217	12-00	234	16-00	207	20-00	211
8-30	219	12-30	237	16-30	203	20-30	213
9-00	221	13-00	242	17-00	200	21-00	215

9-30	222	13-30	236	17-30	198	21-30	215
10-00	225	14-00	233	18-00	200	22-00	217
10-30	226	14-30	225	18-30	203	22-30	217

Табл. 1. Значения «реального» напряжения, измеренные в течение одного рабочего дня

**3 шаг:** Сравнение «допустимых» и «реальных» напряжений. Сравнивая «реальные» показатели напряжения с теми, которые должны быть, мы принимаем решение, для каждого станка, о необходимости устанавливать или не устанавливать технические устройства, улучшающие энергоснабжение. На этом шаге мы обрабатываем полученные данные по напряжению:

- временные интервалы колебаний напряжения в пределах ГОСТа ( $\pm 5\%$ );
- временные интервалы «выхода» за рамки ГОСТа;
- величина  $d A$  превышения или «просадки» напряжения относительно границ допустимого напряжения.

Согласно табл. 1 колебания напряжения, определяем интервалы :

- $d T_1, \dots, d T_k$ ;
- $d A_1, \dots, d A_k$ ;  $j \in (1, k)$

где  $k$  – количество временных интервалов  $d T_j$ , во время которых напряжение не соответствует ГОСТу, т.е. критическое для оборудования и отличается на величину  $d A_j$  от границ допустимого напряжения.

**4 шаг:** определение исходных данных по детали, обрабатываемой на станке: стоимость детали –  $C$ , программа выпуска за отчетный период-  $n$ , время обработки детали на станке -  $t$ . Смысл этого шага состоит в определении стоимости каждой детали обрабатываемой на определенном оборудовании. Помимо стоимости также требуется установить количество выпускаемых деталей в отчетный период (месяц, квартал, год). Зная стоимость и программу выпуска, мы определим программу выпуска в денежном эквиваленте. Для определения вероятности возникновения критической ситуации  $P_{кр}$  (мы будем рассматривать этот вопрос на шаге 5) необходимо вычислить время особо точной обработки («финишной»), зная из исходных данных время полной обработки  $t$ . Как правило, время «финишной» обработки составляет 10 – 15 % от общего времени обработки деталей  $t$ .

**5 шаг:** определение вероятности  $P_i$  выхода «за рамки». На этом шаге, руководствуясь предыдущими шагами, мы можем перейти к описанию математической модели всей методики. Для определения вероятности  $P$  возникновения критической ситуации, основным определяющим фактором будет модель измеренного «реального» напряжения, отраженная в таблице на втором шаге, так же на графике на третьем шаге. Исходя из того, что фактическое напряжение может несколько раз во время рабочего дня выходить за рамки допустимого итоговую вероятность возникновения критической ситуации можно представить в виде суммы вероятностей [4, 5] для каждого интервала  $dT_j$

$$P_{кр} = \sum P_j \quad (2)$$

Для расчета вероятностей  $P_j$  определяемых для каждого  $dT_j$  принимаем, что время «финишной» обработки детали  $t^*$  составляет 10% от общего времени обработки детали  $t$ :

$$P_j = P_{ст} * (dT_j + t^*) / t_{см} \quad , \text{ где:} \quad (3)$$

$P_{ст}$  — вероятность отказа «внутристаночных» технических устройств, обеспечивающих требуемое напряжение. Такие отказы возможны при резких колебаниях в сети. В расчетах эта величина принимается равной 0,05 для одних станков и 0,01 – для других.

$t_{см}$  – продолжительность работы станка в день,

$dT_j$  – определяем по значениям «реального напряжения»,

$t$  – общее время обработки детали на данном станке определяем по начальным условиям.

Такая простая модель вычисления  $P_j$  может быть усложнена, если начать анализировать

- скорость изменения величины напряжения рядом с границами допустимого диапазона напряжений,

- величину отклонений напряжения от ближайшей допустимой границы -  $dA$  .

Если скорость изменения величины напряжения при выходе за границу допустимого диапазона мала и составляет 3-5 Вольт в час, а величина  $dA$  в этом критическом напряжении не превысит 4-5 вольт, то сбой в работе оборудования не произойдет. Этот факт был установлен в результате многочисленных экспериментов, проведенных на ММП «САЛЮТ» специалистами вышеупомянутого ПКП «ФЭЛТ». Также необходимо заметить, что величина итоговой, «финишной» обработки детали может быть больше длительности одного рабочего дня или может быть не меньше длительности между



критическими интервалами  $dT_j$ . В этом случае  $P_j$  должна быть равной 100% и получается, что без технических устройств, обеспечивающих качественное энергоснабжение, не обойтись, однако на практике реальная  $P_j$  значительно меньше. Это связано с тем, что общее время итоговой, «финишной» обработки детали, как правило, складывается из нескольких временных интервалов по технологическому процессу. В этом случае мы должны рассматривать каждый интервал итоговой, «финишной» обработки детали отдельно, а затем вероятности возникновения критических ситуаций во время этих интервалов учитываем в совокупности:

$$P_{кр} = 1 - (1 - P_{кр1})(1 - P_{кр2}) \dots (1 - P_{крm}), \text{ где:} \quad (4)$$

$m$  – количество временных интервалов, для каждого из которых мы определяем  $P_{кр}$ .

Таким образом, можно ещё раз подчеркнуть, что при вычислении вероятности возникновения критической ситуации влияющим фактором является величина питающего напряжения и скорость изменения этого напряжения.

**6 шаг:** определение

$$S = P_{кр} * C * d, \text{ где:}$$

$P_{кр}$  – вероятность возникновения критической ситуации (шаг №5)

$C$  – стоимость одной детали

$d$  – количество деталей

Таким образом, для каждого станка мы можем определить величину «брака» при производстве определенной партии деталей за отчетный период

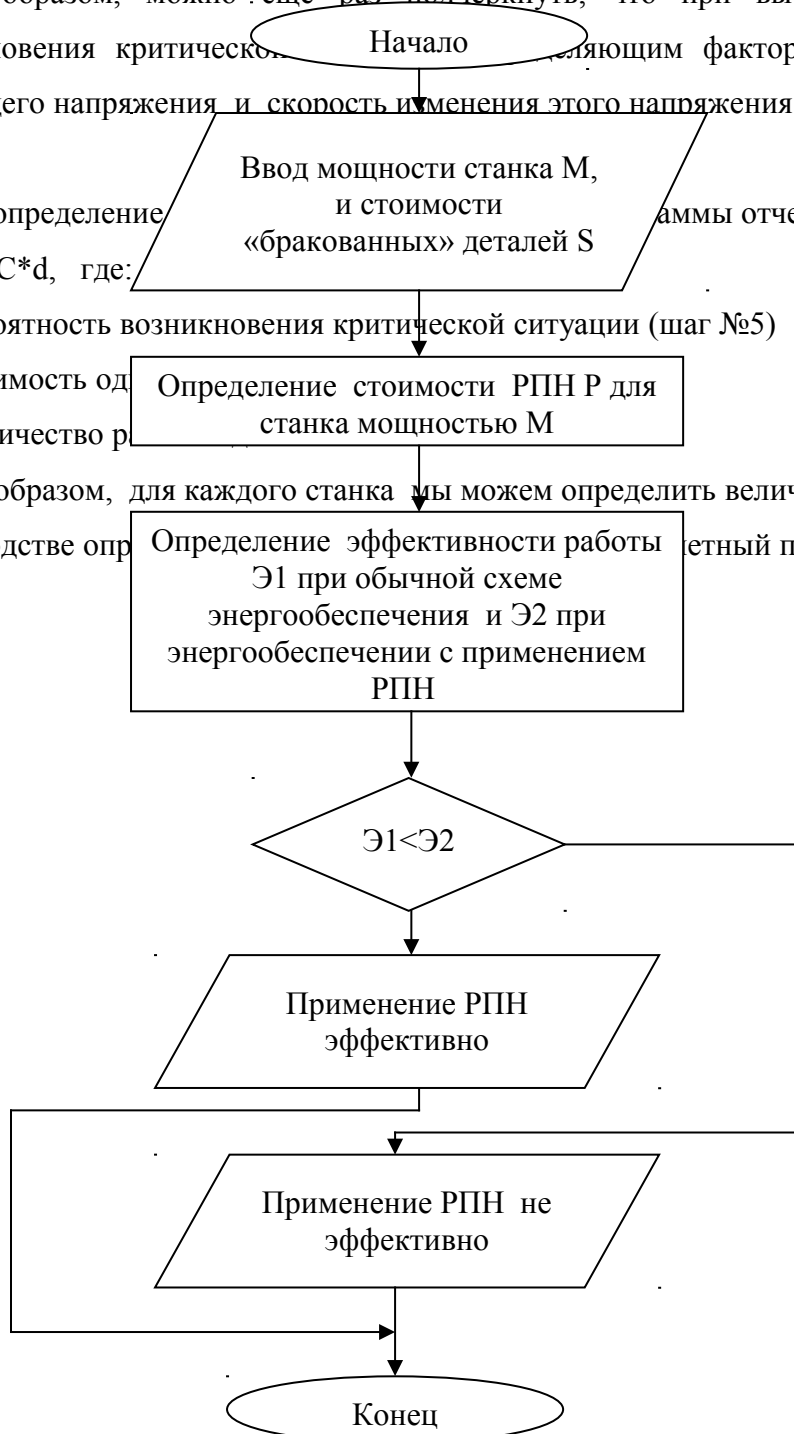


Рис. 2 Определение экономической эффективности внедрения РПН

Теперь рассмотрим вторую блок-схему так же детально, как и первую:

**1 шаг:** определение потребляемой мощности оборудования,  $M$ . Это требуется для определения типа технического устройства, повышающего качество энергоснабжения.

**2 шаг:** определение стоимости  $P$  РПН для станка мощностью  $M$ . Это связано с тем, что для различных мощностей разработаны РПН соответствующих типов. Пределы мощности  $M$  могут изменяться от 1 до 150 кВт

**3 шаг:** Сравнение стоимости  $P$  РПН и стоимости «бракованных» деталей  $S$ . В этом блоке мы должны произвести сравнение «стоимости бракованных деталей» и стоимости технического устройства, повышающего качество энергоснабжения – регулятора переменного напряжения (РПН), который должен исключить возникновение критических ситуаций из-за перепадов напряжения и тем самым исключить брак в производстве. Реальный же смысл заключается в сравнении не «стоимостей» бракованных деталей и РПН, а в сравнении эффективности. Под эффективностью в данной работе автор предлагает рассматривать соотношение прибыли, которую «закладывает» в стоимость детали производитель и стоимости детали. Если бы энергоснабжение полностью соответствовало ГОСТу, то тогда эффективность составила бы 20%, те самые, которые ММП «САЛЮТ» «закладывает» в стоимость деталей. Но на практике мы должны уменьшить величину прибыли, в одном случае на стоимость бракованных деталей, а в другом на стоимость амортизации РПН за отчетный период,  $T$ .

$$\text{Э1} = (\text{П} - \text{S}) / (\text{C} * \text{n}), \text{ где:} \quad (6)$$

Э1- эффективность производства без применения РПН,

П - прибыль,

S - стоимость «брака»,

$$\text{П} = \text{f} * \text{C} * \text{n}, \quad (7)$$

$$\text{S} = \text{Pj} * \text{C} * \text{d},$$

C - стоимость одной детали,

d - количество рабочих дней

n - производственная программа,

Pj - вероятность возникновения критической ситуации во время одного рабочего дня,

f - процент «заложеной» прибыли.

$$\text{Э2} = (\text{П} - \text{T}) / (\text{C} * \text{n}), \text{ где:} \quad (8)$$

Э2 – эффективность производства с применением РПН,

T – стоимость амортизации РПН за отчетный период,

$$\text{T} = \text{P} * \text{t}_0 / \text{t}_{\text{гар}}, \text{ где:} \quad (9)$$

$\text{t}_0$  – длительность отчетного периода,

$\text{t}_{\text{гар}}$  – гарантийный срок эксплуатации регулятора переменного напряжения,

P - стоимость регулятора переменного напряжения(РПН).

Принимая во внимание тот факт, что вычисление эффективности Э1 и Э2 различаются только стоимостью «брака» S и стоимостью амортизации РПН за отчетный период T можно при оценке эффективности сравнивать сначала S и T, а уже потом считать соответствующие эффективности Э1и Э2.

Список литературы:

1. Вагин Г.Я., Севостьянов А.А. Применение на предприятиях регулирующих и стабилизирующих устройств. //Промышленная энергетика. - 1998, №1. - с.60-67.
2. Борисов Б.П., Вагин Г.Я., Лоскутов А.Б., Шидловский А.К. Повышение эффективности использования электроэнергии в системах электротехнологии. – Киев: Наукова думка, 1990.- 252с.
3. Шидловский А.К., Борисов Б.П., Вагин Г.Я. и др. Электромагнитная совместимость электроприемников промышленных предприятий. – Киев: Наукова думка, 1990.- 187с.
4. Королюк В.С. и др. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. – М.:Наука , 1985. - 234с.
5. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. – М. : Наука , 1979. – 375с.

---

Сведения об авторе:

Битушан Алексей Евгеньевич аспирант кафедры систем управления экономическими объектами Московского авиационного института (государственного технического университета).