

М249478

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана

На правах рукописи

ЕВКО Леонид Сергеевич

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ КОМПРЕССОРНЫХ МАШИН

05.04.06 — Вакуумная техника

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



1249478

Евко Л.С. Статистические

Работа выполнена во ВНИИкомпрессормаше и в МВТУ им. Баумана.

Научные руководители:

д. т. н., профессор Лубенец В. Д.,

к. т. н., доцент Пластинин П. И.

Официальные оппоненты:

д. т. н., профессор Постников В. И.,

к. т. н. Нуждин А. С.

Ведущее предприятие — ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени Московский компрессорный завод «Борец».

Автореферат разослан « »

1974 г.

Защита диссертации со-
на заседании Ученого С
факультета МВТУ им. Б
наб., дом 1, лабораторны

С диссертацией можн

Ученый секретарь Сов

к. т. н., доцент

И 249478

Директивами XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства страны на 1971-1975 годы намечено резкое повышение технического уровня всех видов продукции и предусмотрено, что вновь осваиваемая продукция по своим показателям должна соответствовать передовым достижениям мировой науки и техники. Более успешное решение этой задачи связано с установлением научно обоснованных критериев и методов, позволяющих объективно оценить по элементам и в целом преимущества или недостатки конкретного изделия относительно других ему подобных и в дальнейшем планировать повышение его технического уровня.

Большое значение решение проблемы повышения технического уровня имеет для компрессорных машин, совершенство которых в значительной степени определяет эффективность технологических процессов во многих отраслях народного хозяйства и на привод которых расходуется до 20% вырабатываемой в стране электроэнергии.

Характерной особенностью компрессорных машин, теория процессов которых, в основном, базируется на законах термодинамики, является влияние большого количества факторов на их конструкцию — это производительность, давления всасывания и нагнетания, физические и химические свойства сжимаемого газа, температуры всасываемого газа и охлаждающей воды, условия эксплуатации, режим работы, тип привода и т.д. Эти особенности и широкое варьирование параметров (мощность привода от нескольких десятых долей кВт до десятков тысяч кВт и давления нагнетания от 1,3 до 3200 кг/см² и более) в значительной степени затрудняют оценку их технического уровня, которая представляет собой весьма сложную инженерную задачу.

Технический уровень продукции характеризует основные её свойства, входящие в состав качества продукции. В настоящее время происходит формирование науки об измерении технического уровня и качества продукции — квалиметрии, большой вклад в разработку теоретических вопросов которой внесен советскими специалистами Азгальдовым Г.Г., Бойцовым В.В., Верченко В.Р., Гличевым А.В., Крапивенским Э.Н., Кураченко Ю.П., Пановым В.П., Сомовым Ю.С., Федоровым М.В., Федоровым С.А. и др. Однако, до настоящего времени еще не разработаны единые теоретические основы оценки технического уровня, не исследованы природа и взаимосвязь их отдельных свойств.

Настоящая работа посвящена исследованиям общих закономерностей формирования технического уровня и влияния на его показатели параметров и конструктивных особенностей компрессорных машин, определению допустимых пределов отклонения параметров и физических свойств сжимаемых газов при сравнительной оценке машин, установле-

нию критериев позволяющих объективно оценивать по элементам и в целом прогрессивность конструкций и выделять из них лучшие, средние и остальные по техническому уровню. В результате исследования разработаны теоретические основы и методика комплексной оценки технического уровня компрессорных машин с учетом всех известных в мировой практике машин соответствующего класса. Основные исследования и разработанные методики базируются на методах математической статистики, которые наилучшим образом позволяют характеризовать физический смысл технического уровня. Обработка статистического материала осуществлялась на ЭВМ "Минск-22 М".

1. Анализ свойств продукции, показателей и методов оценки технического уровня.

Под техническим уровнем продукции понимается совокупность свойств, отражающих степень использования в её конструкции новейших достижений науки и техники в специализированной и смежных с ней отраслях промышленности. Численно свойства характеризуются показателями. Присущие продукции свойства остаются неизменными, а показатели изменяются от производственных факторов, параметров и конструктивных особенностей продукции. Анализ показывает, что в настоящее время отсутствует единый научно обоснованный подход к формированию совокупности свойств и показателей.

В работе показано, что технический уровень компрессорных машин характеризует три их свойства: функциональность, эффективность и воздействие машины на человека. Суть оценки технического уровня состоит в количественном выражении запроектированного уровня этих свойств показателями, отражающими конструктивное решение машины. При этом показатели эффективности оцениваются в натуральном выражении, а не в стоимостном, как при оценке качества.

В работе дан анализ преимуществ и недостатков существующих методов оценки технического уровня различных видов продукции и показано, что ни один из них не может быть принят для объективной оценки уровня компрессорных машин.

Функциональные свойства характеризуются показателями назначения. Методика установления номенклатуры показателей назначения основана на взаимосвязи выходных параметров компрессорных машин и входных параметров технологического оборудования и инструмента, потребляющих сжатый газ. Основными показателями назначения являются производительность (V), давления всасывания ($P_{вс}$) и нагнетания (P_n), температуры всасываемого газа ($T_{вс}$) и охлаждающей воды (T_w) и физические свойства сжимаемого газа.

Свойство эффективности характеризуется эффективностью производства и эффективностью эксплуатации. Номенклатура показателей эффективности определена исходя из удельного веса стоимостных факторов в структуре народнохозяйственных затрат на изготовление и эксплуатацию компрессорных машин. К ним относятся удельная мощность (N_y), удельный вес (G_y), удельная площадь (F_y), удельный расход охлаждающей воды (B_y) и масла (M_y), срок сохраняемости (T_c), удельная трудоемкость ($T_{ру}$), ресурс до капитального ремонта (T_k), гарантийная наработка (T_g) и уровень автоматизации ($А_а$). Эти показатели характеризуют собой 95,4% всех народнохозяйственных затрат на изготовление и эксплуатацию компрессорных машин за весь срок их службы.

С точки зрения взаимодействия человека с машиной при оценке компрессорных машин необходимо учитывать уровень шума ($Уш$), уровень вибрации ($Ув$) и эстетические свойства ($Пэс$).

2. Статистические исследования влияния параметров и конструктивных особенностей компрессорных машин на показатели их технического уровня.

Показатели назначения — параметры — характеризуют цель создания машины для сжатия газа, а показатели эффективности и эргономические показатели — совершенство процесса сжатия и уровень конструктивных решений машины. Каждой компрессорной машине присущи неповторимые совокупности значений показателей, а часто и параметров. Изменение хотя бы одного параметра вызывает изменение значений целого ряда показателей, которые необходимо учитывать при оценке технического уровня.

В компрессоростроении вопросы влияния параметров на показатели технического уровня компрессорных машин специально не исследовались. В работах А.А.Беленького, Т.Ф.Кондратьевой, П.И.Пластнина, В.А.Румянцева, И.А.Сакуна и И.И.Френкеля на примере отдельных машин показано, что величина основных показателей технического уровня в наибольшей степени зависит от следующих параметров:

$$N_y = f(V, \varepsilon, T_{сc}, T_w, K), \quad (1) \quad B_y = f(V, \varepsilon, T_{сc}, T_w), \quad (2)$$

$$G_y = f(V, P_n), \quad (3) \quad F_y = f(V, P_n), \dots, \quad (4)$$

где ε — степень повышения давления, K — показатель адиабаты.

В связи с тем, что величина показателей технического уровня зависит от V (при $P_n = \text{const}$), ставится задача исследовать численные отношения взаимосвязей этих величин и установить такие границы производительности, в пределах которых показатели технического уровня

ния не будут зависеть от изменения величины производительности. Параметры и показатели при этом рассматривались как случайные явления. Исследованию подвергались поршневые крейцкопфные компрессоры общего назначения ($P_n=9$ кгс/см²) в диапазоне $V=2-150$ м³/мин. Исследовалось влияние производительности на основные показатели технического уровня (N_y, G_y, F_y), а также на параметр ω - число оборотов вала компрессора. С учетом обозначений $x=V, y_1=\omega, y_2=N_y, y_3=G_y, y_4=F_y$ показано, что корреляционная связь переменных (r_{xy}) существенна ($r_{xy_1}=-0,557; r_{xy_2}=-0,541; r_{xy_3}=-0,353; r_{xy_4}=-0,495$), значения функции в крайних точках линии регрессии ($x_{\min}=2$ и $x_{\max}=150$ м³/мин) имеют значительное отличие: y_1 уменьшается в 5,2 раза, y_2 - в 1,3, y_3 - в 2,2 и y_4 - в 2,2 раза.

Решение поставленной задачи сводится к нахождению выборки, характеризующей генеральную совокупность с коэффициентом корреляции $\rho_{xy}=0$ для всех функций одновременно, посредством проверки гипотезы $H_0: \rho_{xy}=0$, где в виде генеральной совокупности выступают компрессоры одного класса по величине производительности (параметрически совместимые). Установлено, что допустимый процент (δ) отклонения для параметрически совместимых компрессоров может быть оценен зависимостью:

$$\delta = 34,4 + 0,064x. \quad (5)$$

Однако, для удобства целесообразно область допустимых отклонений ограничить не прямой (5), а ломаной линией. Тогда для машин с номинальной производительностью 25-100 м³/мин параметрическая совместимость будет характеризоваться сорокапроцентным отклонением производительности от ее номинального значения, а для машин производительностью менее 25 м³/мин - тридцатипроцентным отклонением.

Специальные компрессорные машины в большинстве случаев создаются на базах компрессоров общего назначения. Такая конструктивная приемственность обеспечивает размерную стабильность специальных машин и машин общего назначения в пределах конкретной базы. Осуществив замену V на номинальное значение мощности базы (N_k) и используя экстраполяцию, правомерность которой в работе обоснована, аналогичным образом установлено, что для специальных компрессорных машин параметрическая совместимость характеризуется следующими величинами отклонения N_k : при $N_k < 150$ кВт - ($N_k \pm 0,3N_k$); $N_k = 150+1100$ кВт - ($N_k \pm 0,4N_k$); $N_k = 1100+2010$ кВт - ($N_k \pm 0,5N_k$); $N_k = 2010+3000$ кВт - ($N_k \pm 0,6N_k$); $N_k > 3000$ кВт - ($N_k \pm 0,7N_k$).

Для оценки технического уровня компрессорных машин необходимо иметь четкое представление о видах связей, существующих между показателями и параметрами компрессорных машин. При исследовании

на ЭВМ решалась задача аппроксимации неизвестной формы взаимосвязи между зависимыми и независимыми переменными. В алгоритм программы заложены наиболее часто встречающиеся в практике обработки экспериментальных данных 16 типов математических моделей, посредством которых предполагается выразить реально существующие взаимосвязи исследуемых переменных: степенная, показательная, экспонентная и т.д. В результате исследований для поршневых, центробежных, винтовых и мембранных компрессоров установлены математические зависимости, характеризующие влияние изменения параметров на величину показателей: $N_y = f(\varepsilon)$, $G_y = f(P_n)$, $F_y = f(P_n)$, $V_y = f(P_n)$, $T_k = f(N_k)$, $T_{p1} = f(G)$ и т.д. В принятой методике исследования компрессорная машина рассматривалась как кибернетический "черный ящик".

На величину показателей технического уровня компрессорных машин существенное влияние оказывают их конструктивные особенности: поршневые крейцкопфные или бескрейцкопфные, со смазкой цилиндров или без смазки, водяное охлаждение или воздушное и т.д. В работе решена задача о возможностях сравнения между собой компрессорных машин сопоставимой размерности, но различного конструктивного исполнения. Решение сводится к проверке гипотезы $H_0: \mu_1 = \mu_2$ (μ - математическое ожидание генеральной совокупности), отклонение которой свидетельствует о том, что выборки относятся к разным генеральным совокупностям. Установлено, например, что с вероятностью 95% показатели крейцкопфных и бескрейцкопфных компрессоров принадлежат к различным генеральным совокупностям, т.к. в среднем удельный расход мощности бескрейцкопфных компрессоров на 7,8% выше, чем у крейцкопфных, бескрейцкопфные компрессоры на 44% имеют меньший удельный вес и на 31% - удельную площадь и т.д.

3. Статистические и экспериментальные исследования по приведению удельной мощности компрессорных машин к сопоставимым параметрам

Удельная мощность компрессорных машин является одним из важнейших показателей технического уровня. В среднем более 72% эксплуатационных затрат расходуется на электроэнергию. Поэтому оценка показателя N_y должна осуществляться особо тщательно и объективно с учетом равенства параметров, входящих в зависимость (1).

При оценке технического уровня часто приходится сравнивать компрессорные машины с большим отличием значений давлений нагнетания; например: 165 и 220 кгс/см² для кислородных машин, 9 и 14 кгс/см² для воздушных и т.д. В связи с этим в работе решалась задача пересчета N_y на равные давления нагнетания при относительно больших

их отличиях. Для таких случаев в компрессоростроении не было никаких рекомендаций. ГОСТ 9011-59, ОН-26-01-20-66, правила "PNEUROP", М.И.Френкель и П.И.Пластинин дают зависимости для пересчета N_y при незначительных отклонениях P_n и $P_{вс}$ (2-8%). В работе исследована возможность использования этих зависимостей для более широкого интервала P_n , для чего исследовалась зависимость погрешности пересчета N_y на равные P_n от величины отношения давлений нагнетания оцениваемых машин. Решалась задача методами математической статистики, постановкой массового и контрольного эксперимента.

Статистические исследования осуществлялись на базе большого количества данных (378 значений) по погрешностям пересчета N_y реально существующих 76 компрессорных машин отечественного и зарубежного производства в диапазоне давлений нагнетания от 3 до 400 кгс/см².

Для проверки достоверности исходной информации, принятой для статистических исследований, были осуществлены массовые экспериментальные исследования и контрольный эксперимент.

Особенностью массовых экспериментальных исследований является их организация и осуществление по единой методике на машинах различных конструктивных особенностей в широком диапазоне параметров, выпускаемых Московским, Краснодарским, Пензенским и Мелитопольским компрессорными заводами.

Контрольный эксперимент заключался в более длительных исследованиях, по сравнению с массовыми, осуществленных с особой тщательностью с использованием наиболее прогрессивных методов и средств измерения на специальном экспериментальном стенде, созданном на базе опытного образца компрессорной установки КК-10/64. Тип компрессора - поршневой V - образный, трехступенчатый, четырехцилиндровый с дифференциальными поршнями прямого действия, $V = 10,89 \text{ м}^3/\text{час}$, $P_{вс} = 1 \text{ кгс/см}^2$, $P_n = 64 \text{ кгс/см}^2$, $N_k = 3,82 \text{ кВт}$, $\omega = 1430 \text{ об/мин}$.

Массовый и контрольный эксперименты с высокой вероятностью подтвердили достоверность принятой исходной статистической информации.

Результаты исследования позволили определить пределы применимости каждой из проанализированных методик. Установлено, что лучшей зависимостью для пересчета N_y на равные P_n является:

$$N_{y, \text{пр}} = N_y' \cdot P_{вс} \left[\varepsilon, \left(\frac{K-1}{ZK} \right) - 1 \right] \cdot \left\{ P_n' \left[\varepsilon, \left(\frac{K-1}{ZK} \right) - 1 \right] \right\}^{-1}, \quad (6)$$

где знаком "штрих" отмечены показатели и параметры машины, N_y которой необходимо пересчитывать на равные P_n , Z - число ступеней сжатия. Зависимость (6) с вероятностью 99,73% обеспечивает пересчет N_y

при отношении давлений нагнетания сравниваемых компрессоров до 1,7 с погрешностью, не превышающей 1% и с погрешностью до 5% — при отношении давлений нагнетания более 1,7. Установлено, что параметрическая совместимость по P_n определяется принятой зависимостью для пересчета N_u на равные P_n , которая обуславливает точность пересчета. В результате исследования, посредством проверки статистической гипотезы $H_0: \rho_{xy} = 0$, установлено, что зависимость (6) справедлива при любых значениях V и ω .

В практике оценки технического уровня часто приходится сравнивать компрессоры, сжимающие различные газы. В этом случае удельная мощность должна быть приведена к равным физическим свойствам газов. В результате исследований предложена зависимость для приведения N_u газовых компрессоров к условиям сжатия воздуха:

$$N_{u, \text{пр}} = \frac{1}{\eta_{\text{мех}}} \left(\frac{N_u' \cdot \eta_{\text{мех}} - \sum \Delta N \cdot \frac{P_r}{P_g}}{K} + \sum \Delta N \right), \quad (7)$$

где $N_{u, \text{пр}}$ — удельная, приведенная к воздуху, мощность газового компрессора; N_u' — действительная удельная мощность газового компрессора; $\sum \Delta N$ — статистическое значение суммы удельных потерь мощности в клапанах и каналах газового тракта компрессора, работающего на воздухе; K — величина, представляющая собой отношение сумм удельных номинальных индикаторных мощностей при работе компрессора на газе и воздухе; ρ_g и ρ_r — соответственно плотность воздуха и газа; $\eta_{\text{мех}}$ — механический к.п.д.

Величину K в зависимости от показателя адиабаты κ предлагается определять по графику, характеризующемуся зависимостью:

$$K = 17,78 \cdot 10^{-1} \kappa - 47,5 \cdot 10^{-2} \kappa^2 - 59,83 \cdot 10^{-2}, \quad (8)$$

а $\sum \Delta N$ — по графику, характеризующемуся зависимостью:

$$\sum \Delta N = 38,6 \cdot 10^{-2} + 54,97 \cdot 10^{-4} P_n - 33,1 \cdot 10^{-2} P_n^2 \quad (9)$$

Зависимости (8) и (9) получены в результате статистической обработки данных из поверочных термодинамических расчетов поршневых компрессорных машин Московского и Уральского компрессорных заводов с равной геометрией проточной части, предназначенных для сжатия различных газов в диапазоне давлений от 2 кгс/см² до 800 кгс/см².

В работе приведены статистические значения $\eta_{\text{мех}}$ различных типов компрессоров и предложена номограмма для пересчета N_u на равные $T_{\text{вс}}$ и $T_{\text{ш}}$, позволяющая практически для любых отклонений $T_{\text{вс}}$ и $T_{\text{ш}}$ получить сопоставимую оценку N_u .

4. Вероятностный метод оценки технического уровня компрессорных машин

Оценить технический уровень - значит численно охарактеризовать каждый из его показателей и всю их совокупность в целом. Среди всего множества значений единичных показателей имеются такие, которые характеризуют собой передовой уровень, средний и низкий. Поставлена и решена задача численного определения этих уровней. Рассматривая показатели как случайные величины, исследовав эмпирические распределения показателей технического уровня компрессорных машин общего назначения, установлено, что средний мировой уровень единичных показателей характеризуется модой D . Приняв для D разброс значений, равный среднему квадратическому отклонению S , вероятность $P(x_1 < X < x_2)$ нахождения в интервале (x_1, x_2) случайной величины X (в данном случае вероятное значение D) определяется по функции Лапласа:

$$P(x_1 < X < x_2) = P(z_1 < Z < z_2) = \Phi_0\left(\frac{x_2 - a}{S}\right) - \Phi_0\left(\frac{x_1 - a}{S}\right) = \Phi_0(z_2) - \Phi_0(z_1) \approx 0,36 \quad (10)$$

Вероятность $P=0,36$ означает, что 36% всех значений показателей характеризуют собой средний статистический уровень, т.е. первую категорию. Значения показателей, лежащие перед границей x_1 , характеризуют высшую категорию (20% значений), а значения, лежащие за пределом x_2 - вторую категорию (44% значений).

Определив вероятности по нормальным интегральным функциям распределения:

$$P_1(Z < z_1) = P_1\left(\frac{x_1 - a}{S} < z_1\right) = 0,5 + \Phi_0(z_1) \approx 0,2, \quad (11)$$

$$P_2(Z < z_2) = P_2\left(\frac{x_2 - a}{S} < z_2\right) = 0,5 + \Phi_0(z_2) \approx 0,56, \quad (12)$$

исходя из вероятностной оценки единичного показателя, можно дать следующее определение для соответствующих его уровней:

уровень лучших мировых достижений (высшая категория) - это значение показателей, вероятность превышения которых в настоящее время в мировом компрессоростроении составляет не более 0,2;

средний мировой уровень (первая категория) - это значение показателей, вероятность превышения которых в настоящее время в мировом компрессоростроении заключена в пределе 0,2+0,56;

соответственно отсталый мировой уровень (вторая категория) характеризуется показателями, вероятность превышения которых более 0,56.

Оценка уровней единичных показателей сводится к построению по каждому показателю статистической карты, представляющей собой эмпирическое распределение и интегральную функцию вероятности распределения, и выражению натурального значения показателя величиной вероятности.

Комплексная оценка технического уровня компрессорных машин основана на следующих предпосылках. Технический уровень характеризуется вектором $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$, компонентами которого являются единичные показатели. Известны математические ожидания $\mu_1, \mu_2, \dots$ и дисперсии $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots$ вектора X , что позволяет записать для каждой компоненты выражение для нормальной плотности распределения. Определив каким-либо методом весовости $K_1, K_2, \dots, K_n$ компонент вектора X , для оценки технического уровня компрессорных машин предлагается использовать зависимость:

$$T_y - X - K_1 P_1(x_1 < X_1) + K_2 P_2(x_2 < X_2) + \dots + K_n P_n(x_n < X_n). \quad (13)$$

Критерий (13) является нормированной случайной величиной, то есть его значения лежат в интервале $/0, 1/$. Это следует из того, что вероятности $P_1, P_2, \dots$ являются равномерно распределенными в интервале $/0, 1/$. Критерий же (13) является их линейной комбинацией. По смыслу критерием (13) определяется взвешенная вероятность, которая относится к эквивалентной обобщающей компоненте - техническому уровню (совокупности свойств), условно представляющему синтетическую оценку всех показателей. Возможно и другое толкование критерия (13). А именно, дискретные веса $K_1, K_2, \dots$ считать независимыми и имеющими вероятности $P_1, P_2, \dots$. Тогда по выражению (13) определяется математическое ожидание веса эквивалентной обобщающей компоненты, условно заменяющей все компоненты.

В результате исследований установлено, что при наличии достаточно представительного объема исходной информации о использовании быстродействующей ЭВМ для комплексной оценки технического уровня может быть использован универсальный статистический критерий, выведенный из следующих предпосылок. Полагаем, что вектор X является случайным вектором, распределение которого можно принять за нормальное или привести, путем замены переменных, к нормальному. Определив плотность распределения нормального вектора [5], технический уровень предлагается оценивать вероятностью выполнения условия $T_y - X - P(x_1 < X_1, x_2 < X_2, \dots, x_n < X_n) = \iint_{R_n} \dots \iint S(x_1, x_2, \dots, x_n) dZ, \quad (14)$

где R_n - все n -мерное пространство точек $(x_1, x_2, \dots, x_n)$; $dZ = dx_1 dx_2 \dots dx_n$ - элемент пространства R_n .

Таким образом, критерий (14) является нормированной случайной величиной со значениями в интервале $(0, 1)$, равномерно распределенной в этом же интервале. Равномерная распределенность величины P говорит о равных весах любого возможного значения P , т.е. значение критерия (14) не зависит от весовостей K_i единичных показате-

тедей, так как их оценка дана величиной вероятности, которая характеризует "взвешенный" уровень машины в целом. Критерий (14) является P - вероятностью того, что P - часть компрессоров данного класса высшего технического уровня.

Предложенные вероятностные критерии (13) и (14) могут быть использованы для комплексной оценки технического уровня и качества любых объектов. К высшей категории относятся компрессорные машины со значением $Ty=0,2$; к первой категории - $Ty = 0,2-0,56$ и ко второй - $Ty > 0,56$.

Для оценки технического уровня по зависимости (13) создан объективный экономико-экспертный метод определения коэффициентов весомости K_i единичных показателей и установлены их численные значения. Суть метода состоит в следующем. Все показатели, принятые для оценки технического уровня, разбиваются на две группы. В первую группу войдут показатели ($Gy, Gy, Fy, Vy, My, Ya, Tk, Tg, Ts$), которые прямым образом характеризуют народнохозяйственные затраты и могут быть оценены в стоимостном выражении. Во вторую группу войдут натуральные показатели (Uy, Um, Ub, Pzo), которые не могут быть представлены в стоимостном выражении. Если принять весь технический уровень за 100%, то часть его, характеризующаяся первой группой показателей, составит $\beta\%$, а часть, характеризующаяся второй группой показателей - $\gamma\%$, т.е. $\beta + \gamma = 100\%$. Решалась задача определения составляющих β и γ , затем - весомостей каждого показателя в составе технического уровня.

Экспертным методом при участии 219 специалистов из 25 организаций, занимающихся созданием, производством и эксплуатацией компрессорных машин, установлено, что $\beta = 68,1\%$ и $\gamma = 31,9\%$. Получив оценку β , с учетом структуры народнохозяйственных затрат определялись весомости первой группы показателей экономико-экспертным методом по формуле:

$$K_i = \frac{\Delta \cdot 68,1}{95,4 \cdot 100}, \quad (15)$$

где Δ - удельный вес стоимостной оценки единичного показателя первой группы в структуре народнохозяйственных затрат в %. Весомость показателей второй группы принимается по экспертной оценке ($\sum K_i = 1$).

Технический уровень изменяется во времени t . Поэтому принятая для статистических исследований информация может считаться достоверной только в каком-то временном интервале. С этой точки зрения встает вопрос: какова возможная продолжительность пользования статистическими картами, однажды разработанными? Для решения данной задачи использован метод комплексного усреднения изменения основных

показателей технического уровня различных типов компрессоров общего назначения за последние 25 лет, в результате чего получены соответствующие зависимости, позволившие установить, что, в среднем, за один год технический уровень компрессорных машин повышается приблизительно на 2,3%. Это дает основание рекомендовать срок действия статистических карт и периодичность переоценки технического уровня не менее 3 лет и не более 5 лет. Полученные зависимости могут быть использованы для планирования и прогнозирования повышения технического уровня компрессорных машин.

В целях практического использования результатов исследования целесообразно созданный метод вероятностной оценки технического уровня распространить на комплексную оценку качества компрессорных машин. Согласно ГОСТ 15467-70 под качеством подразумевается совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением. Этому определению соответствует зависимость:

$$K = f(T_y, K_n), \quad (16)$$

где K_n - качество изготовления продукции, т.е. степень её соответствия требованиям чертежей и нормативно-технической документации.

Если показатели эффективности (техничко-экономические показатели) технического уровня представить в стоимостном выражении, тогда качество будет описываться выражением:

$$K = f(\Delta T_y, \mathcal{E}, K_n), \quad (17)$$

где $\mathcal{E}$ - эффективность продукции, т.е. стоимостный критерий оценки при принятии решения о целесообразности создания, производства и эксплуатации изделия с определенным его техническим уровнем и качеством изготовления; ΔT_y - часть технического уровня, характеризующаяся показателями $Уу, Уш, Ув, Пэс$.

В качестве критерия эффективности принята сравнительная эффективность компрессорных машин, характеризующая собой стоимость сжатия единицы объема газа с учетом всех затрат за технический ресурс их работы и определяющаяся по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{C_p + C_э + C_n + C_{ам} + C_в + C_{об} - C_л}{V \cdot 60 [t_o \cdot t_p - (n_k \cdot t_{пк} + n_c \cdot t_{пс} + n_{т} \cdot t_{пт})]}, \text{ руб.} \quad (18)$$

где в числителе - соответственно стоимость ремонтов, электроэнергия, приобретения, амортизации, воды, масла, обслуживания, ликвидационная; t_o и t_p - календарный годовой фонд времени и срок службы машины; n_k, n_c, n_t - число капитальных, средних и текущих ремонтов; $t_{пк}, t_{пс}$ и $t_{пт}$ - время простоя при соответствующих ремонтах. Для

практического исполнения целесообразно Э рассчитывать на 1000м³ сжатого газа.

Оценку качества изготовления компрессорных машин предложено осуществлять по результатам работы комиссии Главной инспекции по качеству продукции критерием, характеризующим вероятность обеспечения стабильного качества и определяющимся по формуле:

$$K_k = \frac{П_n - П_0}{П_n}, \quad (19)$$

где $П_n$ – суммарное количество параметров, проверенных на заводе комиссией по качеству; $П_0$ – зафиксированное количество параметров с отступлениями от требований нормативно-технической документации.

Вероятностная комплексная оценка качества осуществляется по зависимости (13) с соответствующими (16) или (17) коэффициентами весомости или по зависимости (14).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Основные результаты диссертационной работы сводятся к следующему:

1. Сформулированы основные понятия и термины, необходимые для количественной оценки технического уровня компрессорных машин, установлена номенклатура показателей технического уровня и создана методика её определения.

2. Статистические исследования позволили установить математические зависимости, характеризующие изменение величины показателей технического уровня при изменении в широком диапазоне параметров поршневых, центробежных, винтовых и мембранных компрессорных машин. Разработанные в связи с этим методика и программа аппроксимации неизвестной формы взаимосвязи переменных на ЭВМ используются в компрессоростроении для решения многих инженерных и экономических задач.

3. Осуществлены статистические и экспериментальные исследования, созданы соответствующие методики и даны конкретные рекомендации по определению параметрической совместимости компрессорных машин с точки зрения оценки их технического уровня, характеризующейся конструктивными особенностями, величиной производительности, давлением нагнетания, температурами всасываемого газа и охлаждающей воды и физическими свойствами сжимаемых газов. Разработаны методики, номограммы и графики для приведения показателей технического уровня оцениваемых компрессорных машин к равным параметрам.

4. Исследованы эмпирические распределения основных показателей технического уровня и установлено, что они имеют асимметрию

в сторону улучшения значений показателей. Показано, что средний мировой уровень характеризуется модой. Создан вероятностный метод оценки уровней единичных показателей, позволяющий по отдельным конструктивным элементам анализировать техническое совершенство машин. Разработан вероятностный метод комплексной оценки технического уровня с учетом всех известных компрессорных машин, выпускаемых мировым компрессоростроением.

5. Получены математические зависимости, позволившие установить срок переквалификации машин (3-5 лет). Создан объективный экономико-экспертный метод оценки весомости единичных показателей и получены их численные значения на ЭВМ. Разработаны методы расчета комплексного показателя сравнительной эффективности компрессорных машин, характеризующего собой стоимость сжатия единицы объема газа (1000 м^3) с учетом основных эксплуатационных затрат, и показателя качества изготовления, характеризующего вероятность стабильного обеспечения соответствия компрессорной машины требованиям чертежей и нормативно-технической документации.

6. Полученные результаты исследования позволяют объективно оценивать варианты конструкций при создании новых компрессорных машин, решать вопросы постановки на серийное производство новых машин и снятия с производства устаревших конструкций, принимать решения при государственной и отраслевой аттестации, рекомендовать машины на экспорт и закупку по импорту, планировать и прогнозировать на длительный период научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию машин с высоким техническим уровнем.

7. На базе настоящих исследований разработан РТМ по оценке технического уровня и качества компрессорных машин.

Содержание основных разделов диссертации изложено в следующих работах:

1. Пластинин П.И., Евко Л.С. К вопросу определения технического уровня компрессоров общего назначения. Сб. "Исследования в области компрессорных машин и технологии их производства", вып.2-3, Сумы, ВНИИкомпрессормаш, 1971.

2. Пластинин П.И., Евко Л.С., К вопросу определения технического уровня компрессоров общего назначения. "Тезисы докладов III Всесоюзной научно-технической конференции по компрессорному машиностроению (г.Казань, октябрь 1971 г.)", ЦИТИХимнефтемаш, Москва, 1971.

3. Евко Л.С., Пластинин П.И., Николаева В.И., Шовкун Н.В. К вопросу выбора аналога при оценке технического уровня компрессоров

общего назначения. Сб. "Исследования в области компрессорных машин и технологии их производства", вып.4, Сумы, ВНИИкомпрессорам, 1972.

4. Евно Д.С., Пластинин П.И., Соколов С.Г. Статистический метод оценки технического уровня компрессорных машин общего назначения. "Химическое и нефтяное машиностроение", 1972, № 8.

5. Евно Д.С., Пластинин П.И., Соложенцев Е.Д., Шовкун Н.В. Вероятностный метод комплексной оценки технического уровня и качества компрессорных машин. Сб. "Исследования в области компрессорных машин и технологии их производства", вып.5, Сумы, ВНИИкомпрессорам, 1973.

6. Чешко А.Г., Евно Д.С. Зависимость трудоемкости изготовления компрессорных машин от их веса и рабочих параметров и установление оптимальных нормативов затрат труда. Сб. "Исследования в области компрессорных машин и технологии их производства", вып.5, Сумы, ВНИИкомпрессорам, 1973.