

5. Предельно высокая информативность выходных данных для решения задач подобного класса.

Пример расчета параметров динамики, гидродинамики и трибологии поршня с помощью программы PISTON-DHT

Для номинального режима работы тракторного дизеля 2Ч 10,5/12 (Д-120 – ВМТЗ) и использования двух типов моторного масла (обычного и энергосберегающего) выполнены расчеты изменения минимального зазора и силы трения в сопряжении «юбка поршня-цилиндр», представленные соответственно на рис. 3 и рис.4.

Апробация программы. Программы прошла многоуровневую проверку на основе верификации и сопоставления с имеющимися экспериментальными и опубликованными расчетными данными других авторов. По выполненным оценкам максимальное расхождение результатов расчета по программе PISTON-DHT и эксперимента в целом не превышает 10-15%.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА «ДВС» ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЕГО ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Шатров М.Г., Яковенко А.Л., Вирановский С.В. (Московский автомобильно-дорожный институт (государственный технический университет))

Одной из важнейших проблем отечественного двигателестроения является разработка единого информационного пространства ДВС (ЕИП ДВС). Его создание позволяет сократить затраты в жизненном цикле двигателя, уменьшить времена на его проектирование и производство, повысить его потребительские и экологические качества.

ЕИП ДВС предполагает объединение всех автоматизированных систем, которые применяются в жизненном цикле ДВС, вокруг его информационной модели, которая может быть использована многоаспектно на различных этапах. Одной из составляющих этого пространства является информационная модель конструкции двигателя. В зависимости от цели исследования определяется сложность формируемой модели, которая может варьироваться от базового набора данных двигателя S , D , $l_{ш}$ до твердотельных моделей, применяемых на этапе внутреннего проектирования.

При формировании концепции нового двигателя определяющим является выбор базовых параметров его конструкции, обеспечивающих заданный уровень эффективной организации рабочего процесса, требуемых массово-габаритных, динамических и экологических параметров. Применение параметрические трехмерных моделей позволяет конструктору оперативно осуществлять выбор базовых параметров ДВС с учетом многоплановости и, зачастую, противоречивости предъявляемых к нему требований.

На структурный шум ДВС в значительной степени влияют его площадь наружных поверхностей, масса подвижных и неподвижных деталей, а также их габариты. Эти данные могут быть получены на основании статистики или непосредственно, используя разработанные трехмерные параметрические модели основных элементов КШМ (рис. 1).

Рассмотрим применение параметрической трехмерной модели конструкции двигателя в САПР «Виброакустика ДВС», разработка которой осуществляется в МАДИ (ГТУ), для решения задач управления структурным шумом двигателя.

Покажем некоторые аспекты использования данной модели на примере исследования двигателя с искровым зажиганием 4Ч 75,6/76,5 при оценке влияния коэффициента короткоходности $K=S/D$ на массово-инерционные характеристики ДВС, а также при изучении его колебательных характеристик. Базовые параметры исходной конструкции: $S=75,6$ мм, $D=76,5$ мм, $K=0,988$ и $\lambda=0,283$.

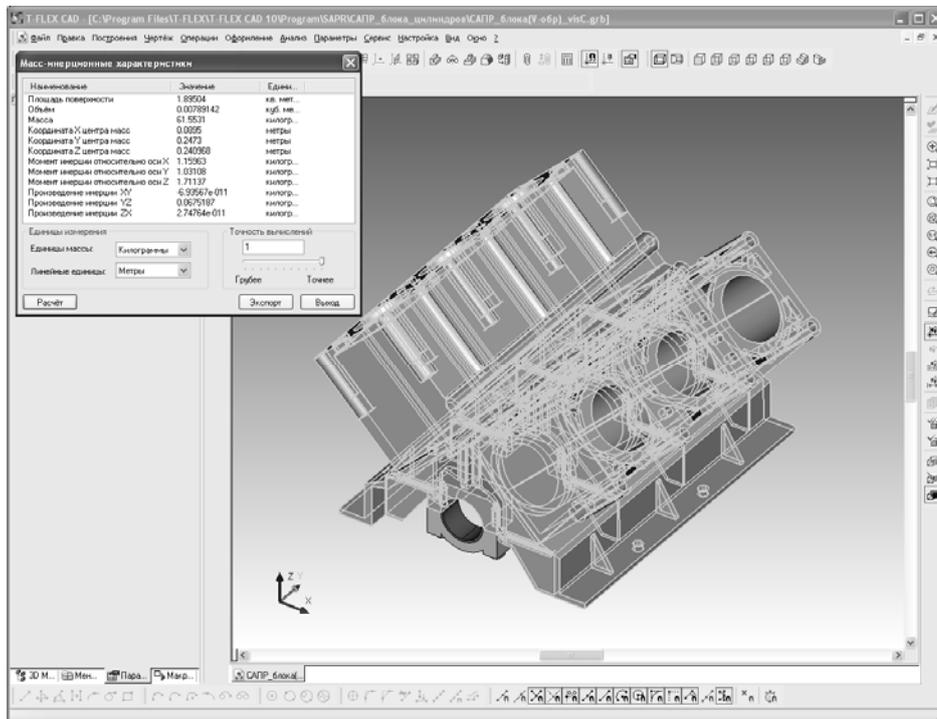


Рис. 1. Определение массово-инерционных характеристик параметрической модели ДВС

Анализ влияния коэффициента короткоходности $K=S/D$ на основные параметры двигателя проведем при постоянстве его рабочего объема. Для однозначности решаемой задачи необходимо задаться либо постоянством коэффициента кинематического подобия $\lambda=D/2l_{ш}$, либо длины шатуна $l_{ш}$.

Рост K от 0,8 до 1,2 вызывает:

- увеличение хода поршня с 65,67 до 86,05 мм (на 31%) и уменьшение диаметра цилиндра с 82,08 до 71,71 мм – соответственно, на 12,6%;
- уменьшение длины коленчатого вала с 506 до 466 мм и его массы с 19,62 до 19,34 кг, что составляет 8,3% и 1,4%;
- уменьшение массы поршня с 0,524 до 0,434 кг (на 17,2%);
- длина блок-картера уменьшилась с 408 до 366 мм, а его ширина – с 124 до 114 мм (на 10,3% и 8,1%).

При фиксированном коэффициенте кинематического подобия λ (0,283) и варьировании $l_{ш}$ с 116 до 152 мм (31%): масса шатуна увеличилась с 0,587 до 0,661 кг (на 12,6%); масса блока-картера снизилась с 18,54 до 17,84 кг (на 3,8%), а высота увеличилась с 249 до 295 мм (на 18,5%).

При постоянной длине шатуна $l_{ш}$ (133,5 мм) и варьировании λ с 0,246 до 0,322 (на 31%) масса блока-картера уменьшается с 19,1 до 17,29 кг (на 9,5%), а высота блока-картера увеличивается с 266 до 277 мм (на 4,1%).

Площадь боковых поверхностей блока-картера ($S_{бк}$) (рис. 2) формируется поверхностями блока цилиндров ($S_б$) и картера ($S_к$).

При постоянной длине шатуна $l_{ш}$ $S_б$ увеличивается на 18,8% и одновременно уменьшается $S_к$ на 14,0%. В результате их суммарная площадь $S_{бк}$ снижается на 2,0%.

В случае неизменной λ рост $S_б$ и $S_к$ происходит на 14,3% и 3,8%, а их суммарная площадь $S_{бк}$ увеличивается на 7,9%.

Влияние коэффициента K на изменение силы инерции P_{jmax} поступательно движущихся масс неоднозначно. С одной стороны, уменьшение массы поршня ведет к уменьшению инерционных масс, движущихся возвратно-поступательно, но, с другой стороны, рост величины хода поршня, из-за которого увеличивается радиус кривошипа r , вызывает увеличение сил инерции и оказывает влияние на λ , за исключением, когда $\lambda = \text{const}$. Однако в целом, максимальное значение силы инерции P_{jmax} увеличивается в среднем на 20%.

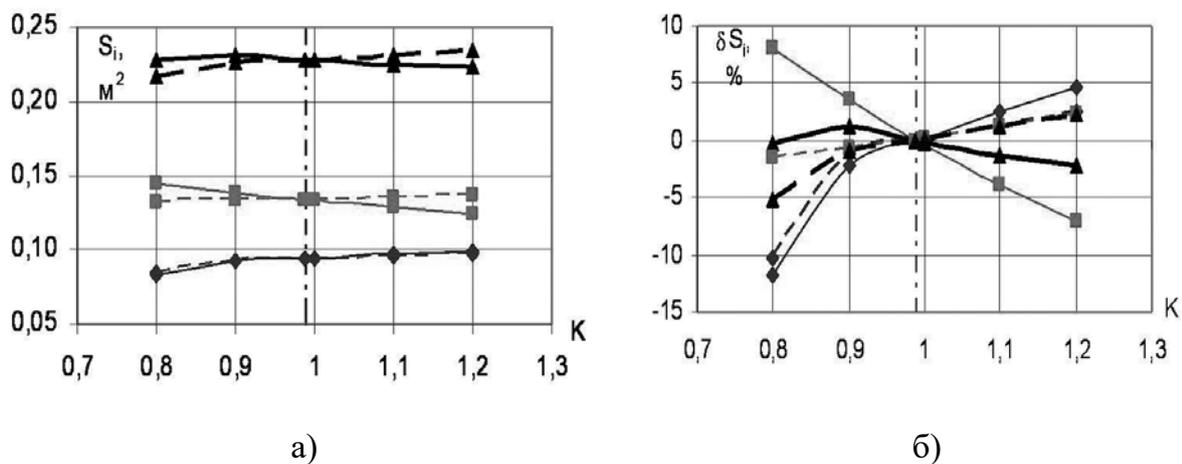


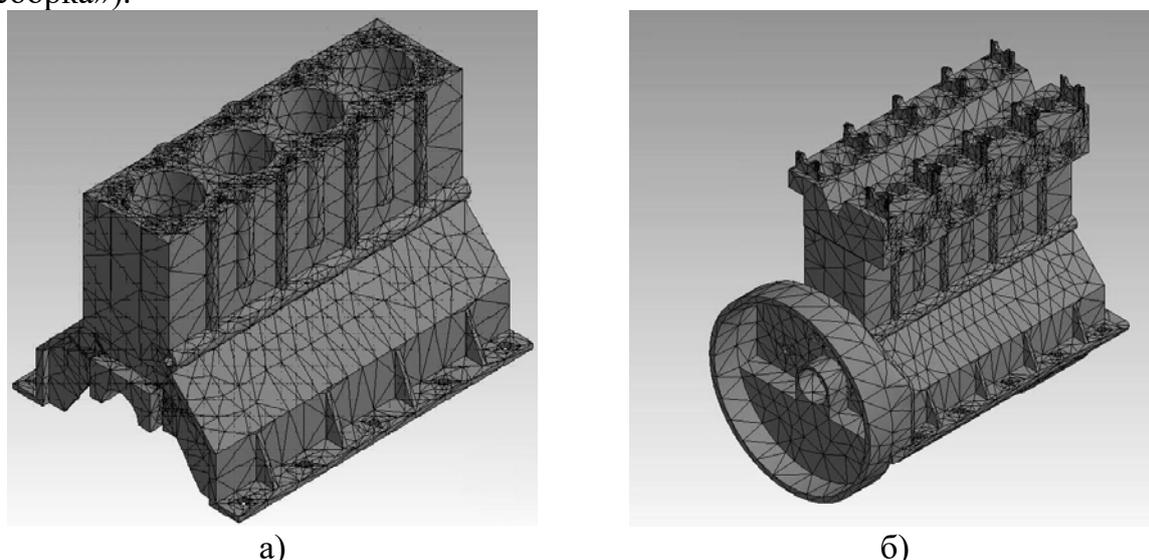
Рис. 2. Изменение площадей боковых поверхностей:
а) абсолютные значения; б) относительные отклонения:

—◆— $S_б$ —■— $S_к$ —▲— $S_{бк}$
— $l_{ш} = \text{const}$ - - - $\lambda = \text{const}$ - · - · базовое значение K

Детальный анализ колебательных свойств конструкции двигателя с целью оценки их влияния на излучение структурного шума предполагает получить необходимую информацию о ее частотах и формах собственных колебаний. Экспериментально такая задача, в силу ее высокой трудоемкости, в полном объеме выполненной быть не может. Практика двигателестроения показала, что наиболее качественная информация по данному вопросу может быть получена с помощью конечно-элементного моделирования конструкции двигателя. Формирование соответствующих моделей должно базироваться на разработанной параметрической трехмерной модели конструкции, являющейся составным компонентом ЕИП ДВС.

Для разработки методов управления структурным шумом ДВС представляется важным исследование влияния отдельных деталей двигателя на формирование его колебательных свойств. Численный эксперимент позволяет в полной мере оценить, как изменяются эти свойства основной корпусной детали ДВС - блок-картера, при последовательном включении в его модель других деталей, входящих в КШМ, и последовательного объединения с теми, которые формируют силовой агрегат на автомобиле.

В качестве примера на рис. 3 приведены ряд конечно-элементных моделей, сформированных на основе трехмерных параметрических моделей и использованных для исследования колебательных свойств: блока-картера и системы, состоящей из блока-картера, головки блока цилиндров и картера маховика (модель «сборка»).



а) б)

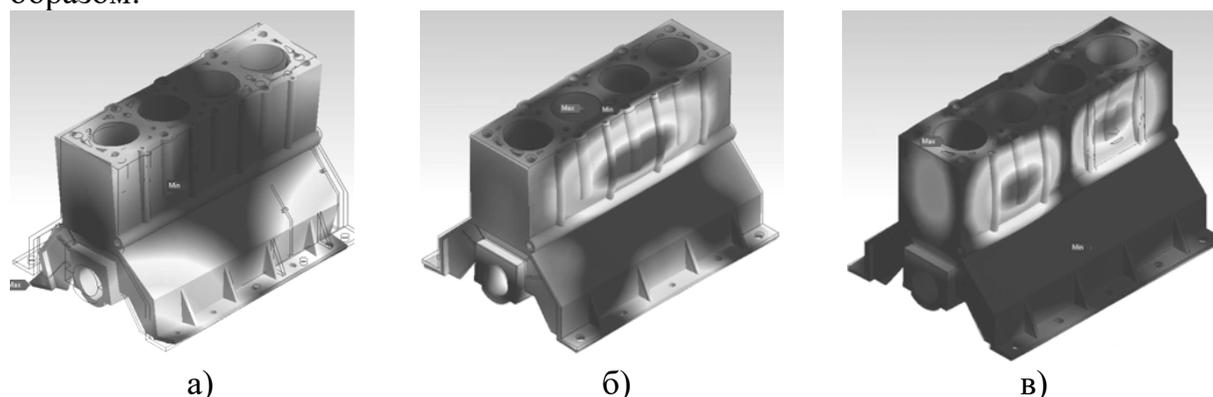
Рис. 3. Конечно-элементные модели:

а) блока-картера; б) блока-картера, головки блока и картера маховика

Расчетный эксперимент проводился в диапазоне 200...2600 Гц. На рис.4 приведены примеры характерных форм собственных колебаний блока-картера.

Полученные формы собственных колебаний (ФСК) были систематизированы (рис.5). В итоге для блока-картера выделены диапазоны частот, для которых характерны определенные типы форм собственных колебаний: 600...2150 Гц - кручение всей конструкции, 980...2050 Гц - изгиб всей конструкции и 800...2600 Гц - изгиб отдельных структур.

Формы собственных колебаний модели «сборка» распределились следующим образом:



а) б) в)

Рис. 4. Примеры характерных собственных колебаний:

а) колебания кручения всего блока-картера на частоте 619 Гц; б) изгибные колебания всего блока-картера на частоте 2025 Гц; в) изгибные колебания в противофазе в пределах ограниченных участков блока-картера на частоте 2243 Гц

- колебания кручения всей конструкции, зарегистрированы в диапазоне 800...1500 Гц. Пример формы собственных колебаний такого типа приведен на рис. 6;

- изгибные колебания всей конструкции отмечены в диапазоне 1350...1900 Гц;
- ФСК, соответствующие изгибным колебаниям отдельных элементов, зафиксированы практически во всем диапазоне 800...2600 Гц.

Следует отметить, что в процессе подготовки моделей ДВС для исследования колебательных характеристик существенными являются вопросы контактных взаимодействий между жестко соединяемыми и подвижными деталями двигателя.

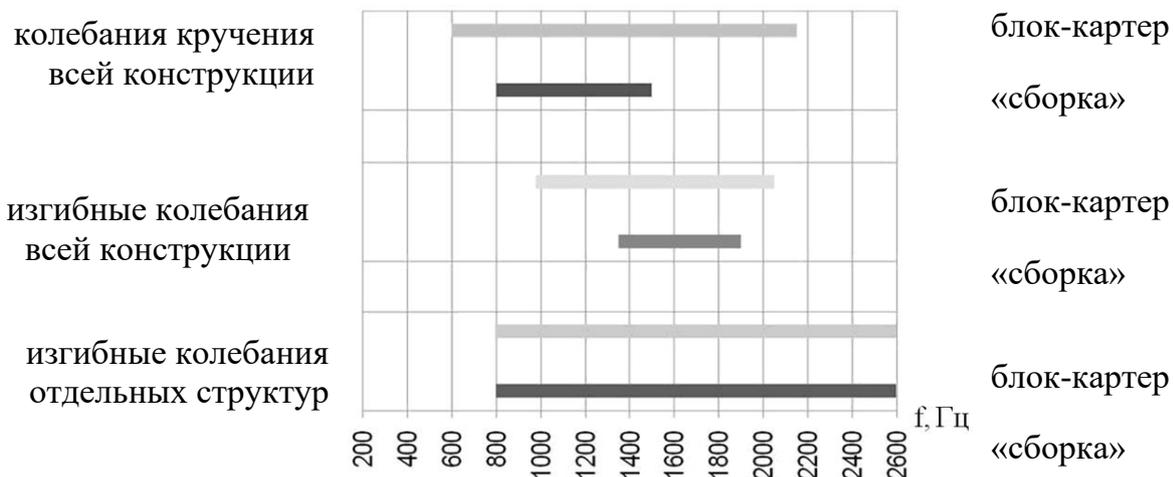


Рис. 5. Результаты систематизации характерных форм собственных колебаний деталей ДВС

От правильности задания силовых факторов зависит достоверность анализа вынужденных колебаний конструкции. Для этого следует учитывать особенности используемых сегодня рабочих процессов и многообразие конструктивных решений для высоконагруженных двигателей.

Важными являются вопросы выбора метода оценки структурного шума. Для этих целей может применяться, например, метод граничных элементов.

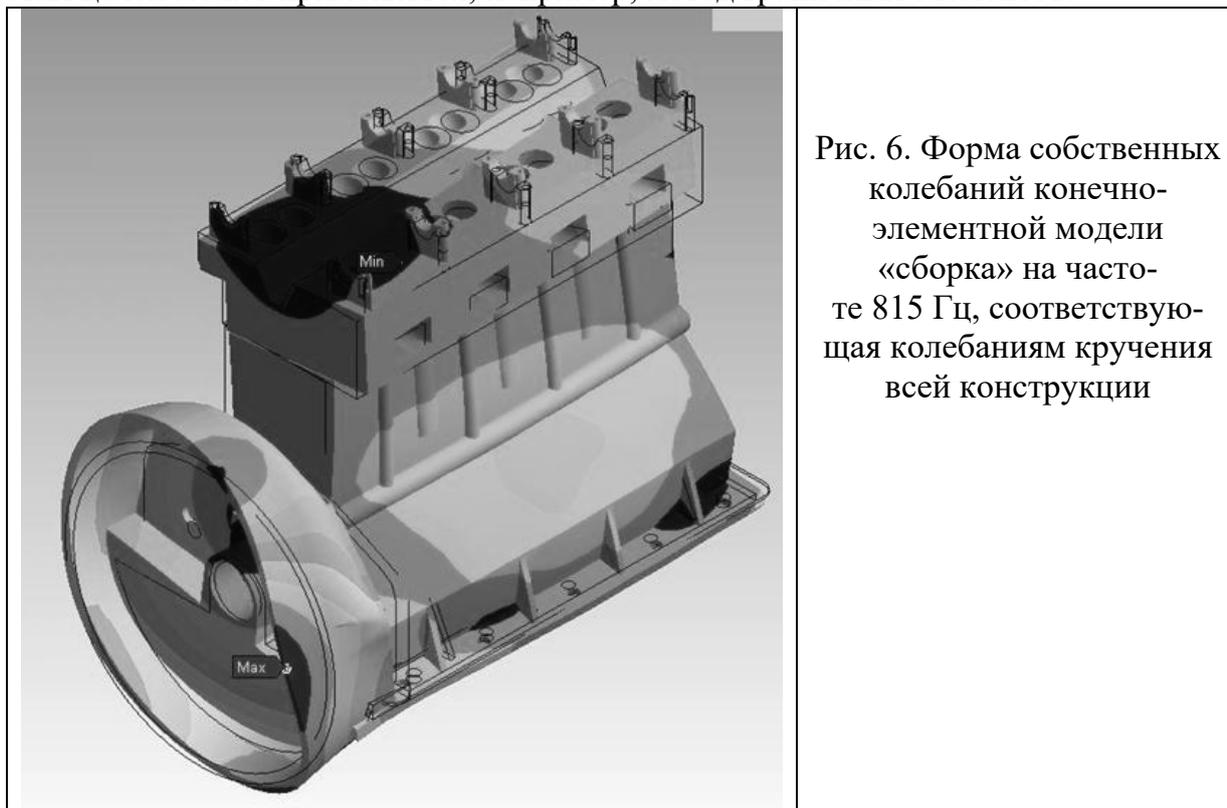


Рис. 6. Форма собственных колебаний конечно-элементной модели «сборка» на частоте 815 Гц, соответствующая колебаниям кручения всей конструкции

Литература

1. Брилинг Н. Р. Теория короткоходного двигателя // Труды лаборатории двигателей, 1957.
2. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 2. Динамика и конструирование: Учебник для вузов/ В.Н. Луканин, И.В. Алексеев, М.Г. Шатров и др.; Под ред. В.Н. Луканина и М.Г. Шатрова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2007. – 400 с.: ил.
3. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 3. Компьютерный практикум. Моделирование процессов в ДВС: Учебник для вузов/ В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Т.Ю.Кричевская и др.; Под ред. В.Н. Луканина и М.Г. Шатрова. – 2-е изд. – М.: Высш. шк., 2005. – 414 с.: ил.

КОМПЛЕКС ЭКОНОМИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ АНАЛИЗА ТЕПЛОНАПРЯЖЕННОСТИ ПОРШНЯ В САПР

Пылёв В.А., Марченко А.П., Турчин В.Т., Кузьменко А.П. (Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»)

Разработка высокоэффективных интегрированных САПР ДВС во многом базируется на комплексном применении совершенных методического и математического видов обеспечения. При этом методическое обеспечение, предоставляя полное описание технологии прохождения проекта, обязательно ориентируется на реализацию адаптивных стратегий проектирования, неизменно включая циклические [1,2]. Применение последних связано со значительными трудностями выполнения внутреннего функционального описания двигателя и конструктивной оптимизации элементов относительно проявления совокупности свойств при внешнем воздействии на двигатель, как на сложную техническую систему [3].

Противоречивость требований повышения качества конструкции, снижение сроков проектирования и затрат на проектирование в первую очередь вызвана выполнением проектных итераций. В связи с этим общепризнано, что эффективность САПР будет тем выше, чем меньше совершается возвратов на начальные этапы проектирования после выполнения этапов испытаний опытных образцов. Последнее требование может быть разрешено лишь на основе удовлетворения другого противоречия – применения достоверных и экономичных математических моделей внутреннего функционального описания объекта проектирования. Актуальность разработки такого математического обеспечения связана с повышением эффективности САПР ДВС в целом.

Сказанное выше в полной мере относится к проблемам проектирования поршня, в т.ч. – оценки критериев его эксплуатационной теплонапряженности, включая ресурсную прочность.

Основным подходом в решении данной проблемы является использование набора математических моделей различных уровней сложности, когда на начальных этапах анализа теплонапряженности конструкции применяют более экономичные модели нижнего уровня сложности, а окончательное решение принимают на основе моделей верхнего уровня [4].

Применительно к разрабатываемому нами методическому обеспечению необходимым является комплекс, основанный на совокупности моделей анализа типа серого ящика (блоки 1-4) и черного ящика первой группы (блоки 5-7), представленных на рис.1.