

О.Ю. Линьков, В.В. Пылёв, С.А. Кравченко

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НАГАРА НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ДНИЩА ГОЛОВКИ ЦИЛИНДРОВ СРЕДНЕОБОРОТНОГО ДИЗЕЛЯ

Рассмотрены представления о возникновении трещин в перемычках головки цилиндра тепловозного дизеля. Оценено влияние нагара на поверхности огневого днища головки цилиндра на её температурное состояние. Исследована проблема, связанная с неравномерным распределением тепловых потоков поверхностью днища. Проведено расчетное исследование влияния неравномерного распределения нагара на температурное состояние огневого днища головки цилиндра четырехтактного тепловозного дизеля.

Введение. Большое количество магистральных (2ТЭ116, 2ТЭ121, ТЭП70, ТЭП75) и маневровых (ТГМ6, ТЭМ7) тепловозов оснащены четырехтактными среднеоборотными дизелями типа Д49 (12ЧН26/26), разработанными в Коломне (Россия) на тепловозостроительном заводе и выпускаемыми с 1975 г. На железнодорожном транспорте в Украине имеется значительная потребность в замене деталей данных двигателей. Одной из проблемных деталей является головка цилиндра. Как показала практика использования указанных дизелей, достаточно часто встречающейся поломкой является появление трещин на её огневой поверхности в перемычке между клапанами (рис. 1), а также между клапаном и отверстием форсунки.

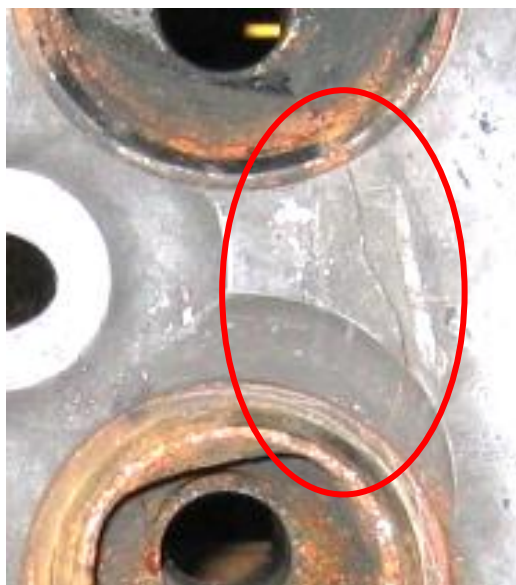


Рис. 1. Трещина на огневой поверхности головки цилиндра

Изготавливается головка из высокопрочного чугуна ВПЧ-НМ-П. Согласно ТУ срок службы данной детали должен соответствовать сроку службы дизеля (3,6 млн. км пробега). Однако реальный срок службы головок цилиндров составляет

600 ... 800 тыс. км. По этой причине потребитель постоянно заинтересован как в поставках новых изделий, так и, что особо актуально, в повышении срока их эксплуатации.

Анализ проблемы. В Украине эксплуатируются головки цилиндров производства Коломенского завода, Полтавского ТРЗ (литые заготовки поставляются из Германии) и Кременчугского механического завода (собственное литьё). Срок службы головок этих производителей несколько отличается, но в целом позволяет исключить весомое влияние качества материала и нарушения технологии изготовления на растрескивание перемычек. Это обстоятельство выдвигает задачу математического моделирования и анализа состояния конструкции с целью ее совершенствования.

Среди известных факторов, вызывающих появление трещин в перемычках головок цилиндров, рассматривают габариты головки, толщину огневого днища, конфигурацию литейных сопряжений внутренних поверхностей, плавающую конструкцию седел клапанов, особенности жидкостного охлаждения. При этом возникновение трещин поясняется высоким уровнем термических напряжений, вызванных значительным перепадом температур преимущественно в радиальном направлении цилиндра в условиях циклических низкочастотных и высокочастотных изменений нагрузки [1, 2].

В результате анализа состояния головок цилиндров, имеющих исследуемые дефекты, выявлено наличие нагара на огневой поверхности головки. При этом нагар образуется неравномерно по указанной поверхности, что позволяет выделить три характерные зоны, представленные на рис. 2.

Здесь в общем случае зону 1 можно характеризовать постоянным наличием нагара в процессе эксплуатации дизеля, зону 2 – образованием нагара на частичных нагрузках и выгоранием на тяжелых режимах нагружения, зону 3 – практическим отсутствием нагара.

Являясь теплоизолятором, нагар перераспределяет тепловые потоки, уменьшая их величину в зонах с большим слоем нагара и увеличивая в зо-

нах с меньшим. Можно предположить, что указанное явление вносит дополнительный вклад в увеличение перепада температур по головке цилиндра. Причем этот перепад имеет преимущественно окружной характер, при котором увеличиваются термические напряжения в зоне перемычек. Уровень этого вклада на сегодня не исследован.

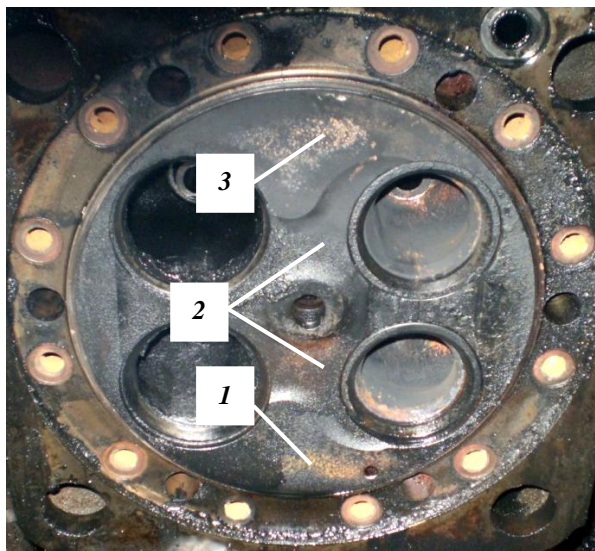


Рис. 2. Огневая поверхность головки цилиндра с нагаром

Известно, что нагар обладает свойствами частично-динамической теплоизоляции [3]. Поэтому, для учета его влияния на температурное состояние головки цилиндров необходимо решение задачи высокочастотной нестационарной теплопроводности в области днища в сочетании с моделированием стационарного трехмерного температурного состояния в остальной области головки. Методика такого моделирования предложена и реализована применительно к поршню, представлена в [4, 5]. Для обоснования её использования применительно к головке цилиндров нужны предварительные исследования по оценке влияния отложений нагара на днище головки цилиндров на её температурное состояние.

Изложение основного материала.

В работе предложено решение температурной задачи днища головки в следующей постановке. Теплопроводность огневого днища рассматривается как одномерная, в направлении его толщины. На первом этапе исследований с учетом параметров рабочего тела дизеля устанавливается тепловой поток от рабочего тела в головку цилиндров. На втором этапе, с учетом допущения, что нагар перекрывает 50 % площади головки, а суммарный тепловой поток от рабочего тела в головку цилиндров

при этом не изменяется, устанавливается температурное состояние части головки, имеющей нагар и части, свободной от нагара. На этой основе устанавливается оценочное влияние нагарообразования на тепловыпад между рассматриваемыми зонами огневой поверхности головки.

Расчетное исследование нестационарного высокочастотного температурного состояния днища головки выполнено с применением математической модели [6]:

$$\rho(x)c(x,T(x,\tau))\frac{\partial T(x,\tau)}{\partial \tau} = \partial \left(\lambda(x,T(x,\tau))\frac{\partial T(x,\tau)}{\partial x} \right) / \partial x;$$

$$\rho(0)c(0,T(0,\tau))\frac{\partial T(0,\tau)}{\partial \tau} =$$

$$= \lim_{x \rightarrow +0} \frac{\lambda(x,T(x,\tau))\frac{\partial T(x,\tau)}{\partial x} + \alpha_e(\tau)(T_e(\tau) - T(0,\tau))}{x};$$

$$\alpha_e(T_e - T(l,\tau)) - \lambda(l,T(l,\tau))\frac{\partial T(l,\tau)}{\partial x} = 0;$$

$$T(x,0) = T_0(x)_{x \in [0;l]},$$

где $T_0(x)$, $T(x,\tau)$ – температуры днища на расстоянии x от огневой поверхности в начальный момент времени и в текущий момент τ ; $T_e(\tau)$, T_e – температуры рабочего тела в камере сгорания и охлаждающей жидкости в полости головки; $\alpha_e(\tau)$, α_e – коэффициенты теплоотдачи от соответствующих сред к телу головки; λ , c , ρ – теплопроводность, теплоемкость и плотность материалов, соответственно; l – толщина днища головки.

Теплофизические свойства чугуна, из которого выполнена головка цилиндра, задавались как температурозависимые в соответствии с [7]; для слоя нагара они приняты: $\lambda = 1,7$ Вт/(м·К), $c = 1260$ Дж/(кг·К) и $\rho = 2000$ кг/м³ [8]. Граничные условия со стороны поверхности охлаждения: $\alpha_e = 1800$ Вт/(м²·К), $T_e = 363$ К [9]. Коэффициент теплоотдачи со стороны рабочего тела определялся согласно формуле проф. Г. Вошни.

Исследование проводилось на режиме работы дизеля $N_e = 1470$ кВт, $n = 1000$ мин⁻¹ для толщин нагара от 0 до 0,75 мм. Толщина днища головки принята 15 мм.

Расчеты выполнялись при помощи программного комплекса, реализованного на языке Free Pascal.

Результаты расчетного высокочастотного температурного состояния огневой поверхности головки цилиндров при различных толщинах нагара представлены на рис. 3.

Из рисунка видно, что наличие нагара приводит к существенному росту температуры на его поверхности.

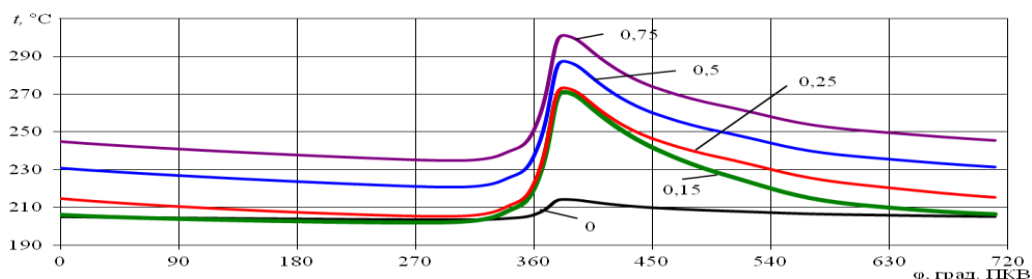


Рис. 3. Мгновенные температуры поверхности головки цилиндра: цифры у кривых – толщина нагара, мм

Так, например, при толщине нагара 0,75 мм эта температура на протяжении рабочего цикла двигателя превышает температуру исходной поверхности головки на 40 ... 90 градусов. Это обстоятельство приводит к уменьшению теплового по-

тока в головку в зоне наличия нагара и его увеличения в свободной от нагара зоне до 9 %.

На рис. 4 представлены зависимости среднецикловой температуры для различных зон дна головки. Видно, что исходная расчетная температура при отсутствии нагара равна 207 °С.

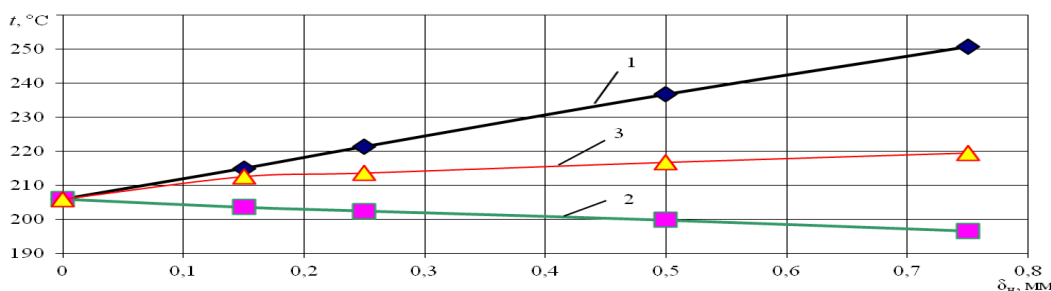


Рис. 4. Зависимость среднецикловой температуры поверхности головки цилиндра от толщины нагара: 1 – поверхность слоя нагара; 2 – поверхность материала головки под нагаром; 3 – поверхность головки в зоне, свободной от нагара

При толщине слоя нагара 0,75 мм средняя температура на его поверхности возрастает до 250 °С, а материала головки под нагаром снижается до 197 °С. При этом температура свободной от нагара части поверхности головки возрастает до 220 °С. Таким образом, наличие нагара снижает температуру собственно поверхности головки в его зоне на 10 градусов и увеличивает температуру головки в свободной от нагара зоне на 13 градусов. В целом имеет место температурный перепад по поверхности головки, равный 23 градуса.

двигателя при решении задачи повышения долговечности межклапанных перемычек головки.

Заключение

Выполнены предварительные исследования и разработана методика оценки влияния отложений нагара на дна головки цилиндров на его температурное состояние. Использована математическая модель нестационарной высокочастотной одномерной теплопроводности. Показано, что нагар, имеющий место на части огневого дна, может служить дополнительным фактором высокой термической напряженности головок. Это обстоятельство следует учитывать в задачах повышения долговечности межклапанных перемычек головок, в частности, тепловозных дизелей типа Д49.

Аналогичные исследования выполнены при увеличенной до 20 мм толщине дна головки. В данном случае, при общем увеличении температуры для исходной конструкции до 232 °С, увеличение теплоперепада по поверхности головки практически не происходит. Расчетное его значение при толщине нагара 0,75 мм составило 24 градуса.

Дальнейшее направление работ предполагает моделирование трехмерного температурного состояния головок цилиндров с учетом нагарообразования на их днах.

Полученный результат свидетельствует о необходимости учета наличия нагара на части поверхности дна головки цилиндров тепловозного

Список літератури:

1. Исаев Е. В. Оценка напряженного состояния и запаса прочности элементов днища головок цилиндров // Тракторы и сельхозмашины. – 1974. – №4. – С. 10-12. 2. Костин А. К. Теплонапряженность двигателей внутреннего сгорания: Справочное пособие / Костин А. К., Ларионов В. В., Михайлов Л. И. – Л.: Машиностроение, 1979. – 222 с. 3. Оцінка температурного стану стінки камери згорання поршня з шаром нагару / Марченко А. П., Шпаковский В. В., Пильов В. В. та ін. // Двигатели внутреннего сгорания. – 2012. – №2. – С. 37-41. 4. Марченко А. П. Методика моделювання нестационарного високочастотного температурного стану поршня двигателя внутрішнього згорання / А. П. Марченко, В. В. Пильов // Известия высших учебных заведений: Машиностроение. – 2013. – № 5. – С. 58-63. 5. Марченко А. П. Моделювання нестационарного високочастотного температурного стану поршня двз з теплоізолюваною поверхнею камери згорання / А. П. Марченко, В. В. Пильов // Двигатели внутреннего сгорания. – 2015. – № 2. – С. 41-47. 6. Пильов В. В. Визначення впливу теплоізоляції камери згорання на показники роботи ДВЗ: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.03 „Двигуни та енергетичні установки” / Пильов В. В. – Харків, 2014. – 20 с. 7. Процессы в перспективных дизелях / Шеховцов А. Ф., Абрамчук Ф. И., Крутов В. И. и др.; под ред. А. Ф. Шеховцова. – Харьков: Изд-во «Основа», 1992. – 352 с. 8. Кавтарадзе Р. З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях: Учеб. пособ. для вузов / Кавтарадзе Р. З. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 472 с. 9. Шеховцов А. Ф. Разработка конечноэлементной модели теплонапряженного и деформированного состояния головки цилиндров быстроходного дизеля / Шеховцов А. Ф., Тринев А. В., Авраменко А. Н. // Двигатели внутреннего сгорания. – 2007. – № 1. – С. 20-30.

Bibliography (transliterated):

1. Isayev, E. V. (1974), "Assessment of the state of stress and the bottom margin of the cylinder heads elements strength", Tractors

and agricultural machinery ["Otsenka napryazhennogo sostoyaniya i zapasa prochnosti elementov dnishcha golovok tsilindrov", Traktory i selkhoz mashiny], №4. pp.10-12. 2. Kostin, A. K., Larionov, V.V., Mikhaylov, L.I. (1979) "Thermal stress of combustion engines: a Reference Guide [Teplonapryazhennost dvigateley vnutrennego sgoraniya: Spravochnoye posobiye], Leningrad: Mashinostroyeniye. 222 p. 3. Marchenko, A. P., Shpakovsky, V. V., Pyllov, V. V. and etc. (2012) "Evaluation of temperature state combustion piston chamber wall with a layer of soot" Internal combustion engines ["Otsinka temperaturnoho stanu stinky kamery zghorianniya porshnia z sharom naharu", Dvyhately vnutrennego shoranyia]. №2, pp. 37-41. 4. Marchenko, A.P., Pylev, V.V. (2013) "Methods of modeling of non-stationary high-temperature state of the internal combustion engine piston" Proceedings of the higher educational institutions: Engineering. ["Metodika modelirovaniya nestatsionarnogo vysokochastotnoho temperaturnoho sostoyaniya porshniya dvigatelya vnutrennego sgoraniya"] Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy: Mashinostroyeniye]. №5. pp. 58-63. 5. Marchenko, A.P., Pylev, V.V. (2015) "Simulation of unsteady state of high temperature ICE piston insulated from the surface of the combustion chamber" Internal combustion engines ["Modeliuvannya nestatsionarnogo vysokochastotnoho temperaturnoho stanu porshnia dvz z teploizolovanoi poverkhnei kamery zghorianniya"] Dvyhately vnutrennego shoranyia] №2. pp. 41-47. 6. Pyllov, V.V. (2014) Determining the impact of the combustion chamber insulation on the performance of internal combustion engines: Thesis Candidate of Technical Sciences, specialty 05.05.03 "Engines and Power Plants" [Vyznachennia vplyvu teploizoliatsii kamery zghorianniya na pokaznyky roboty DVZ: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: spets. 05.05.03 „Dvyhuny ta enerhetychni ustanovky"]. Kharkiv, 20 p. 7. Shekhovtsov, A.F., Abramchuk, F.I., Krutov, V.I. and others, ed. A.F. Shekhovtsov (1992) "Processes in promising diesel" ["Protsessy v perspektivnykh dizelyakh"] Kharkov: Publishing house «Osnova», 352 p. 8. Kavtaradze, R.Z. (2007) "Local heat transfer in piston engines: Textbook for High Schools" [Lokalnyy teploobmen v porshnevnykh dvigatelyakh: Ucheb. posob. dlya vuzov] Moscow: Publishing house MGTU named N.E. Bauman. 472 p. 9. Shekhovtsov, A.F., Trinev, A.V., Avramenko, A.N. (2007) "Development of finite element model of heat-stressed and deformed state of the cylinder head speed diesel engine", Internal combustion engines ["Razrabotka konechnoelementnoy modeli teplonapryazhennogo i deformirovannogo sostoyaniya golovki tsilindrov bystrokhodnogo dizelya", Dvigateli vnutrennego sgoraniya]. №1. pp. 20-30.

Надійшла до редакції 05.07.2016 р.

Линьков Олег Юрьевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри двигателів внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: linkov@ukr.net.

Пильов Вячеслав Владимирович – канд. техн. наук, молодший научний співробітник кафедри двигателів внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: vv3ryuov@i.ua.

Кравченко Сергей Александрович – канд. техн. наук, с.н.с., старший научний співробітник кафедри двигателів внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: dvskhpi2016@gmail.com.

ОЦІНКА ВПЛИВУ НАГАРУ НА ТЕМПЕРАТУРНИЙ СТАН ДЕНЦЯ ГОЛОВКИ ЦИЛІНДРІВ СЕРЕДНЬОБЕРТОВОГО ДИЗЕЛЯ

О.Ю. Линьков, В.В. Пильов, С.О. Кравченко

Розширено уявлення щодо виникнення тріщин в перетинках головки циліндра тепловозного дизеля. Оцінено вплив нагару на поверхні вогневого денця головки циліндра на її температурний стан. Досліджено проблему, пов'язану з нерівномірним розподілом теплових потоків по поверхні денця. Проведено розрахункове дослідження впливу нерівномірного поширення нагару на температурний стан вогневого денця головки циліндра чотирьохтактного тепловозного дизеля.

THE ESTIMATION OF CARBON DEPOSIT INFLUENCE ON THE TEMPERATURE STATE OF THE MIDDLE SPEED DIESEL CYLINDER HEAD

O.U. Linkov, V.V. Pylyov, S.O. Kravchenko

Conception of cylinder head fractures origin in the locomotive diesels is expanded. The carbon deposit influence on the cylinder head temperature state is estimated. The nonuniform heat flux distribution is studied. Carbon layer presents on the four-stroke locomotive diesel cylinder head surface considering during its temperature state simulation is performed.

УДК 621.43.016

DOI: 10.20998/0419-8719.2016.1.07

В.А. Пылев, Р. Ариан, И.А. Нестеренко

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ САПР ПОРШНЯ ДВС

В работе выполнен анализ известных подходов и схем по поддержке автоматизированного проектирования двигателей внутреннего сгорания с учетом повышения эффективности процесса проектирования. Рассмотрены известные особенности прохождения проекта поршня ДВС в САПР. На основе анализа конструкций поршней дизелей, условий их теплообмена со стороны камеры сгорания и влияния термонапряженного состояния на процесс разрушения кромки камеры сгорания поршня уточнены этапы анализа конструкций поршней и порядок их прохождения в многоэтапной САПР с учетом многовариантности детализации исходных данных.

Введение

Совершенствование двигателей внутреннего сгорания в первую очередь связывают с улучшением протекания внутрицилиндровых процессов, в т.ч. – за счет формоизменения камеры сгорания (КС). В связи с этим, а также неизменной тенденцией увеличения уровня форсирования двигателей, достаточно сложной наукоёмкой является задача обеспечения требуемого уровня надежности наиболее теплонапряженных деталей, образующих КС, – поршней, головок цилиндров, клапанов.

В последнее время существенно обострилась проблема обеспечения физической надежности поршней форсированных дизелей, связанная с растрескиванием кромок КС. Согласно современным представлениям это растрескивание вызвано перегревом поршней и значительными перепадами их температурного состояния для двигателей, условия эксплуатации которых предполагают частые и резкие смены нагрузки [1,2].

Безусловно, необходимый уровень физической надежности конструкций должен быть обеспечен на стадии их проектирования. При этом ожидается как сокращение времени на доводку объектов проектирования на стендах и в условиях эксплуатации, так и уменьшения общего времени разработок и затрат на разработки. Этим обусловлена высокая актуальность работ данного направления.

Практическая реализация указанного комплекса требований на сегодня и в перспективе предполагает использование систем автоматизации проектирования. Это означает, что совершенствование двигателей, их систем, узлов, деталей и от-

дельных конструктивных элементов должно сопровождаться совершенствованием соответствующих подсистем интегрированной САПР ДВС.

Анализ проблемы

На сегодня теория САПР представлена достаточно большим количеством публикаций, в которых речь идет о системах и собственно процессе автоматизированного проектирования сложных технических объектов, в том числе и ДВС [3-5]. В тоже время для непосредственного их применения и совершенствования необходима существенная конкретизация. Такая конкретизация находит свое развитие в части совершенствования программного обеспечения САПР, как базового, так и специализированного. Применительно к анализу деталей КС это относится к программным комплексам, основанным на использовании методов конечных элементов и конечных разностей [6-8]. При этом достоверность результата и качество его анализа возлагается на проектировщика, его возможности в части постановки задачи и задания граничных условий (ГУ). На него также возлагается решение о возврате на предыдущие этапы многоэтапной САПР, повторном решении задач данного этапа либо передачи результатов на последующие этапы проектирования. Здесь под этапом понимают логично завершённый фрагмент проектирования, на основе результатов которого принимают решение о дальнейшем направлении работ в соответствии с имеющимися место маршрутами. При этом важно, что эффективность САПР определяется именно минимальным повтором решаемых задач на каждом этапе выполнения проекта в многоэтапной САПР [9].