Модернизация элемента изделия на основе вычислительного эксперимента

А. Р. Мухутдинов¹, М. Г. Ефимов¹, З. Р. Вахидова²✉

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Российская Федерация

²Казанский кооперативный институт (филиал) автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования Центросоюза Российской Федерации «Российский университет кооперации», г. Казань, Российская Федерация

✉ MRZulphiya@rambler.ru

Резюме

В данной статье разработана и отработана методика компьютерного моделирования элемента корпуса спец. изделия для повышения его эффективности за счет использования современных информационных технологий. Показано, что модернизация элемента корпуса специального изделия за счет компьютерного моделирования и вычислительного эксперимента с 3D-моделями позволяет повысить технико-экономические показатели производства специального изделия. Эксперименты, проведенные на элементе корпуса спец. изделия, подтверждают результаты, полученные при использовании стандартных образцов. Проведен сравнительный анализ экспериментальных данных с результатами компьютерного моделирования, у последних наблюдается занижение коэффициента запаса прочности, что связано с неполным учетом основных свойств объекта. Повысить прочностные характеристики и уменьшить себестоимость при изготовлении элемента корпуса специальные изделия можно при следующей модернизации: замена материала АД-33 на АК-6 и уменьшении количества опор с четырех до трех. Экспериментальные данные, полученные с помощью современных информационных технологий, показывают, что прочностные характеристики элемента корпуса специального изделия с тремя опорами из алюминиевого сплава марки АК-6 превышают на 11 % характеристики стандартного элемента корпуса с четырьмя опорами из сплава АД-33. Система автоматизированного проектирования (средней категории) позволяет определить значение напряжения, которое испытывает элемент корпуса в момент нагружения. Так, для появления микротрещин на его опорах необходимо приложить нагрузку в 15,6 кН.

Ключевые слова

компьютерное моделирование, 3D-модель, численное решение, вычислительный эксперимент, алюминиевый сплав

Для цитирования

Мухутдинов А. Р. Модернизация элемента изделия на основе вычислительного эксперимента / А. Р. Мухутдинов, М. Г. Ефимов, З. Р. Вахидова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – Т. 66 № 2. – С. 28–37. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.2(66).28-37

Информация о статье

поступила в редакцию: 10.02.2020, поступила после рецензирования: 19.03.2020, принята к публикации: 24.04.2020

Modernization of the product element on the basis of a computational experiment

A. R. Mukhutdinov¹, M. G. Efimov¹, Z. R. Vakhidova²✉

¹Kazan National Research Technological University, Kazan, the Russian Federation

²Kazan Cooperative Institute of the Russian University of Cooperation, Kazan, the Russian Federation

✉ MRZulphiya@rambler.ru

Abstract

In this article, a technique of the computer modeling of a housing element for a special product was developed and worked out to increase its efficiency through the use of modern information technologies. It is shown that the modernization of the housing element of a special product through computer modeling and computational experiment with 3D models can improve the technical and economic performance of the production of a special product. Experiments conducted on the housing element of the special product confirm the results obtained using standard specimens. A comparative analysis of the experimental data with the results of computer modeling is carried out. The latter ones have an underestimation of the safety factor, which is associated with incomplete consideration of the main properties of the object. To increase the strength characteristics and reduce the prime cost of manufacturing the housing element, special products can be made with the following modernization: replacing material AD-33 with AK-6 and reducing the number of supports from four to three. Experimental data obtained using modern information technologies show that the strength characteristics of a housing element of a special product with three supports made of aluminum alloy of the AK-6 grade exceed the characteristics of a standard housing element with four supports of the AD-33 alloy by 11 %. The computer-aided design system (of

a middle category) allows one to determine the voltage value that the housing element is subjected to at the time of loading. So, in order for microcracks to emerge on its supports, it is necessary to apply a load of 15.6 kN.

Keywords

computer modeling, 3D-model, numerical solution, computational experiment, aluminum alloy

For citation

Mukhutdinov A. R., Efimov M. G., Vakhidova Z. R. Modernizatsiya elementa izdeliya na osnove vychislitel'nogo eksperimenta [Modernization of the product element on the basis of a computational experiment]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, Vol. 66, No. 2, pp. 28–37. DOI: 10.26731/1813-9108.2020.2(66).28-37

Article Info

Received: 10.02.2020, Revised: 19.03.2020, Accepted: 24.04.2020

Введение

В настоящее время в связи со сложной ситуацией в мире важно обеспечить высокую эффективность производства специальных изделий оборонного назначения [1]. В этом могут помочь системы автоматизированного проектирования (САПР) [2–12]. Они относятся к числу наиболее сложных и наукоемких автоматизированных систем. Эти программные продукты обеспечивают выполнение инженерных расчетов и физическую демонстрацию процесса функционирования проектируемых изделий, проверку их работоспособности, прогнозирование длительности жизненного цикла, определение рабочих характеристик на этапе проектирования до изготовления опытных образцов и их испытаний, оптимизацию этих характеристик. Компьютерное моделирование и демонстрация могут использоваться и для оптимизации проектов. Все это делается одновременно путем вариации параметров формы, размеров и других свойств проектируемого изделия. На крупных предприятиях заметна тенденция интеграции САПР с системами управления предприятием и документооборота. Использование современных информационных технологий от началь-

ной стадии проектирования объекта до конечной стадии виртуального испытания в литературе мало освещено, а вычислительный эксперимент с разработанными моделями и закономерности протекающих в них процессов мало изучены, в литературе данные о них практически отсутствуют.

Таким образом, применение САПР, использующих численное моделирование, к примеру, для решения задач прочности изделий, существенно экономит время, ресурсы, позволяет сократить объемы натурных испытаний, а также более тщательно оптимизировать их конструкцию.

Методика и объект исследования

В этой связи в данной статье представлены результаты моделирования элемента корпуса специального изделия.

Целью данной работы является модернизация элемента корпуса специального изделия за счет компьютерного моделирования и вычислительного эксперимента с 3D-моделями для повышения технико-экономических показателей его производства.

Объектом исследования является элемент корпуса специального изделия. Особенность данной методики – возможность введения в среду разработки САПР

Рис. 1. Вид образца III типа
Fig. 1. A view of a Type III specimen

характеристик элемента специального изделия, которых нет в стандартной библиотеке программы. Предлагаемая методика включает три этапа.

Первым этапом проводится выбор и обоснование материала, который обеспечит лучшие прочностные характеристики и ценовые показатели. Выбор материала осуществлялся по прочностным характеристикам, определяемым на основании испытаний на растяжение компьютерных 3D-моделей образцов из разных марок алюминиевых сплавов в САПР, подобно описанной методике [13]. Для создания 3D-моделей образцов руководствовались ГОСТ 1497-84 (рис. 1), их форма соответствует III типу (табл. 1).

Таблица 1. Размер образцов

для создания модели, мм

Table 1. The size of the specimens to create a model, mm

d_0	$l_0=5d_0$	$l_0=10d_0$	$l=$ $l_0+(1,5\dots 2)d_0$	D	h_1	r
3	15	30	21...36	7	7	1,5

В качестве критерия оценки результата испытания на растяжение выбран коэффициент запаса прочности (КЗП), который зависит от предела текучести материалов. Ниже приведены результаты испытаний на растяжение образцов из алюминиевых сплавов семи произвольных марок – АМц (1), Д12 (2), АВ (3), Д16 (4), АД1 (5), В65 (6), АДО (7)

a

(рис. 2, *a*, *б*) и специальных – АМг5 (*a*) (1), АД33 (*б*) (2), АК-6 (*в*) (3) (рис. 3).

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время в качестве материала элемента корпуса специального изделия используется алюминиевый сплав марки АД33, а в случае его отсутствия – АМг5. Для исследования взят алюминиевый сплав марки АК-6. Проводилось сравнение механических характеристик данных марок сплавов (табл. 2) и виртуальные испытания на растяжение стандартных образцов с помощью моделирования САПР (рис. 3), (табл. 3).

Таблица 2. Механические характеристики марок алюминиевых сплавов

Table 2. Mechanical characteristics of grades of aluminum alloys

Характеристики	Марки алюминиевых сплавов		
	АМг5	АД33	АК-6
E , ГПа	71	68,9	72
G , МПа	26 500	25 864	27 000
ρ , г/см ³	2,650	2,710	2,750
σ_t , МПа	160	275	378
σ_p , МПа	300	310	447

б

Рис. 2. Результаты испытаний на растяжение образцов из алюминиевых сплавов: *a* – марки АМц (1), Д12 (2), АВ (3), Д16 (4); *б* – марки АД1 (5), В65 (6), АДО (7)

Fig. 2. Results of tensile tests of specimens of aluminum alloys:

a – grades АМts (1), D12 (2), АВ (3), D16 (4); *b* – grades AD1 (5), V65 (6), ADO (7)

Таблица 3. Коэффициент запаса прочности для алюминиевых сплавов по результатам испытаний с помощью моделирования [14]

Table 3. Safety factor for aluminum alloys according to the results of tests using modeling [14]

Марка алюминия	$K_{ЗП}_{эксп}$	$K_{ЗП}_{комп}$	Относительная погрешность, %
АМг5	0,50	0,44	12
АД33	0,85	0,76	10,5
АК-6	1,15	1,05	9

Рис. 3. Коэффициент запаса прочности при растяжении стандартных образцов:
1 – АМг5; 2 – АД33; 3 – АК-6

Fig. 3. Safety factor in tension for standard specimens:
1 – AMg5; 2 – AD33; 3 – AK-6

Гистограмма представляет результаты виртуальных испытаний трех компьютерных моделей и их сравнение с экспериментальными данными (рис. 4).

Рис. 4. Коэффициент запаса прочности стандартных образцов алюминиевого сплава

Fig. 4. Safety factor for standard aluminum alloy specimens

Анализируя коэффициент запаса прочности алюминиевых сплавов, можно сделать вывод, что алюминиевый сплав марки АК-6 обладает наибольшим коэффициентом запаса прочности при растяжении, чем остальные материалы. Сравнивая экспериментальные данные с данными, полученными при использовании компьютерной модели, у последних наблюдается занижение коэффициента запаса прочности, что связано с неполным учетом основных свойств объекта.

Подтвердим результаты, полученные при растяжении стандартных образцов, используя в качестве объекта испытания на кручение модель элемента корпуса специального изделия (рис. 5–7). Стрелками указаны направления максимальной нагрузки в виде силы. Результаты испытания на кручение элемента корпуса специального изделия представлены на гистограмме (рис. 8).

Рис. 5. Элемент корпуса из алюминиевого сплава марки АМг5
Fig. 5. Housing element made of aluminum alloy grade AMg5

Рис. 6. Элемент корпуса из алюминиевого сплава марки АД33
Fig. 6. Housing element made of aluminum alloy grade AD33

Рис. 7. Элемент корпуса из алюминиевого сплава марки АК-6

Fig. 7. Housing element made of aluminum alloy grade AK-6

Рис. 8. Коэффициент запаса прочности элемента корпуса специального изделия из разных марок алюминиевого сплава

Fig. 8. The safety factor of a housing element of a special product from different grades of aluminum alloy

Эксперименты, проведенные на элементе корпуса специального изделия, подтверждают результаты, полученные при использовании стандартных образцов. Повысит прочностные характеристики данного изделия выбор в качестве материала алюминиевого сплава марки АК-6.

В качестве второго этапа работы по модернизации элемента изделия проведена оптимизация конструкции элемента корпуса специального изделия и определено оптимальное количество опор, обеспечивающих достаточные его прочностные характеристики. Для обоснования выбора количества опор элемента корпуса в расчетной среде САПР образцы из разных марок алюминиевых сплавов подвергались

виртуальным испытаниям на нагрузку с помощью моделирования.

Все объекты имеют предел нагрузки (напряжения), зависящий от используемого материала, который представляется как упругость материала или предел прочности. Если материал имеет предел текучести, т. е. определенное его значение на единицу площади, то любые нагрузки выше этого предела приведут к появлению какой-либо остаточной деформации. Если проектируемая деталь не должна сохранять остаточную деформацию вследствие нагружения сверх предела текучести (в большинстве случаев), то максимально допустимая нагрузка в данном случае будет составлять это значение на единицу площади. Следовательно, коэффициент запаса прочности является отношением

максимально допустимого напряжения к эквивалентному напряжению (по Мизесу) при использовании предела текучести.

Испытаниям подвергались образцы элемента корпуса специального изделия из алюминиевого сплава марки АК-6, имеющего высокий коэффициент запаса прочности. Опоры зафиксированы в местах крепления элемента к корпусу специального изделия и испытаны на нагрузку 10 кН. Далее представлены результаты, полученные при компьютерном исследовании образцов элементов с различным количеством опор (рис. 9–12), (табл. 4).

Для сравнения прочностных характеристик в проведенных экспериментах выбран стандартный образец из алюминиевого сплава марки АД-33, который используется на производстве, и испытан на нагрузку как предыдущие образцы (рис. 9).

Таблица 4. Коэффициент запаса прочности элемента корпуса специального изделия для марки алюминиевого сплава в зависимости от количества опор

Table 4. The safety factor of a housing element of a special product for an aluminum alloy grade depending on the number of supports

Но- мер опыта	Количе- ство опор	Марка алюминие- вого сплава	Коэффици- ент запаса прочности
1	4	АК-6	0,83
2	3		0,64
3	2		0,43
4	4	АД-33	0,57

Рис. 9. Элемент корпуса из алюминиевого сплава марки АК-6 с четырьмя опорами
Fig. 9. Housing element made of aluminum alloy of the AK-6 grade with four supports

Рис. 10. Элемент корпуса из алюминиевого сплава марки АК-6 с тремя опорами
Fig. 10. Housing element made of aluminum alloy of the AK-6 grade with three supports

Рис. 11. Элемент корпуса из алюминиевого сплава марки АК-6 с двумя опорами
Fig. 11. Housing element made of aluminum alloy grade AK-6 with two supports

Рис. 12. Элемент корпуса из алюминиевого сплава марки АД-33 с четырьмя опорами
Fig. 12. Housing element made of aluminum alloy grade AD-33 with four supports

Результаты испытаний на нагрузку элемента корпуса специального изделия представлены на гистограмме (рис. 13).

Рис. 13. Коэффициент запаса прочности (K) элемента корпуса специального изделия для марок материала и количества опор (N)

Fig. 13. The safety factor (K) of the housing element of the special product for grades of material and the number of supports (N)

Повысить прочностные характеристики и уменьшить себестоимость при изготовлении элемента корпуса специального изделия можно при следующей модернизации: замена материала АД-33 на АК-6 и уменьшение количества опор с четырех до трех.

При этом по экспериментальным данным в САПР прочностные характеристики элемента корпуса специального изделия с тремя опорами из алюминиевого сплава марки АК-6 превышают на 11 % характеристики стандартного элемента корпуса с четырьмя опорами из сплава АД-33.

Третьим этапом определена нагрузка на элемент корпуса специального изделия, необходимая для начала видимых повреждений опор. Среда САПР позволяет установить величину напряжения, которое испытывает образец в этот момент времени. Так, для появления микротрещин на опорах элемента корпуса необходимо приложить нагрузку 15,6 кН [15].

Заключение

В статье разработана методика компьютерного моделирования элемента корпуса специального изделия для повышения его эффективности за счет использования современных информационных технологий (САПР). Алюминиевый сплав марки АК-6 обладает наибольшим коэффициентом запаса прочности при растяжении, чем остальные материалы. Сравнение экспериментальных данных с данными, полученными при использовании компьютерной модели, показало, что у последних наблюдается занижение коэффициента запаса прочности. Это связано с неполным учетом основных свойств объекта.

Повысить прочностные характеристики и уменьшить себестоимость при изготовлении элемента корпуса специального изделия можно при следующей модернизации: замена материала марки АД-33 на АК-6 и уменьшение количества опор с четырех до трех. При этом по экспериментальным данным в САПР прочностные характеристики элемента корпуса специального изделия с тремя опорами из алюминиевого сплава марки АК-6 превышают на 11 % характеристики стандартного элемента корпуса с четырьмя опорами из сплава АД-33.

Список литературы

1. Патент РФ № 19942084809/18, 09.12.1994.
2. Бенин Д.М. Обзор средств автоматизированного проектирования // ФЭН-Наука. 2015. № 5. С. 17–19.
3. Бакер М. Поддержка моделирования работы предприятий авиационно-космической и оборонной отраслей // САПР и графика. 2014. № 10. С. 84–86.
4. Малюх В.Н. Введение в современные САПР: курс лекций. М.: ДМК Пресс, 2010. 192 с.
5. Мухутдинов А.Р., Ефимов М.Г. Основы применения ANSYS AUTODYN для решения задач моделирования быстропротекающих процессов. Казань: КНИТУ, 2018. 244 с.
6. Компьютерный инжиниринг: учеб. пособ. / А.И. Боровков и др. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. 93 с.
7. Storchak N. Application of the system KOMPAS-3D in teaching engineering discipline // CAD and graphics. 2013. № 10. P. 88–89.
8. Klesheva N.A., Tarasova I.M. Application of graph theory in the process of mathematical preparation of bachelors' system // International journal of applied and fundamental research. 2015. № 1. P. 130–135.
9. Денисов М.А. Компьютерное проектирование ANSYS: учеб. пособие. Екатеринбург: Урал. федер. ун-т. 2014. 77 с.
10. Comsol. Программный пакет для мультифизического моделирования [Электронный ресурс]. URL: <https://www.comsol.ru/products> (дата обращения: 25.01.2020).
11. MSC.Adams. Система виртуального моделирования машин и механизмов [Электронный ресурс]. URL: <http://repo.ssau.ru/bitstream/Metodicheskie-izdaniya/Osnovy-kinematicheskogo-i-dinamicheskogo-modelirovaniya-v-MSCADAMS--Elektronnyi-resurs-metod-ukazaniya-72544> (дата обращения: 25.01.2020).
12. САПР для машиностроения и промышленного производства / Инженерные расчеты и моделирование технологических процессов / MSC [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cad.ru/ru/software/detail.php?ID=3181> (дата обращения: 25.01.2020).
13. Мухутдинов А.Р., Яничев С.А. Основы применения Autodesk Inventor для решения задач проектирования и моделирования: учеб. пособ. Казань: Изд-во КНИТУ, 2016. 140 с.
14. Лондонская биржа цветных металлов [Электронный ресурс]. URL: <http://metallicheskii-portal.ru/index-cen-lme> (дата обращения: 25.01.2020).
15. Голикова А.В., Клименко Е.В. Особенности современных систем автоматизированного проектирования: анализ и практика применения [Электронный ресурс]. URL: <http://files.scienceforum.ru/pdf/2014/5804.pdf> (дата обращения: 25.01.2020).

References

1. RF patent No. 19942084809/18, 12/09/1994.
2. Benin D.M. Podderzhka modelirovaniya raboty predpriyatii aviatsionno-kosmicheskoi i oboronnoi otraslei [Overview of computer aided design]. FEN Nauka [FEN Science], 2015, No. 5, pp. 17–19.
3. Baeker M. Podderzhka modelirovaniya raboty predpriyatii aviatsionno-kosmicheskoi i oboronnoi otraslei [Support for modeling the work of enterprises in the aerospace and defense industries]. SAPR i grafika [CAD and graphics], 2014, No. 10, pp. 84–86.
4. Malyukh V.N. Vvedenie v sovremennye SAPR: kurs lektzii [Introduction to modern CAD: a course of lectures]. Moscow: DMK Press Publ., 2010, 192 p.
5. Mukhutdinov A.R., Efimov M.G. Osnovy primeneniya ANSYS AUTODYN dlya resheniya zadach modelirovaniya bystroprotekayushchikh processov [The basics of using ANSYS AUTODYN to solve the problems of modeling fast processes]. KNIU Publ., Kazan', 2018, 244 p.
6. Borovkov A. I. et al. Komp'yuternyi inzhiniring: ucheb. posobie [Computer Engineering: a textbook]. St. Petersburg: Politechn. un-ty Publ., 2012, 93 p.
7. Storchak N. Application of the system KOMPAS-3D in teaching engineering discipline. Journal "CAD and graphics". Moscow, 2013, No. 10, pp. 88–89.
8. Klesheva N.A., Tarasova I.M. Application of graph theory in the process of mathematical preparation of bachelors' system. International journal of applied and fundamental research, 2015, No. 1, pp. 130–135.
9. Denisov M.A. Komp'yuternoe proektirovanie ANSYS: Uchebnoe posobie [Computer Engineering ANSYS: a textbook]. Ekaterinburg: Ural Federal University Publ., 2014, 77 p.

10. Comsol. Programmnyi paket dlya mul'tfizicheskogo modelirovaniya [Multiphysics software package] [Electronic media]. URL: <https://www.comsol.ru/products> (Accessed January 25, 2020).
11. MSC.Adams. Sistema virtual'nogo modelirovaniya mashin i mekhanizmov [MSC.Adams. The system of virtual modeling of machines and mechanisms] [Electronic media]. URL: <http://repo.ssau.ru/bitstream/Metodicheskie-izdaniya/Osnovy-kinematicheskogo-i-dinamicheskogo-modelirovaniya-v-MSCADAMS--Elektronnyi-resurs-metod-ukazaniya-72544> (Accessed January 25, 2020).
12. SAPR dlya mashinostroeniya i promyshlennogo proizvodstva / Inzhenernye raschety i modelirovanie tekhnologicheskikh processov [CAD for mechanical engineering and industrial production / Engineering calculations and process modeling] / MSC [Electronic media]. URL: <http://www.cad.ru/ru/software/detail.php?ID=3181> (Accessed January 25, 2020).
13. Mukhutdinov A.R., Yanichev S.A. Osnovy primeneniya Autodesk Inventor dlya resheniya zadach proektirovaniya i modelirovaniya: uchebnoe posobie [The basics of using Autodesk Inventor to solve design and modeling problems: a textbook]. Kazan: KNRTU Publ., 2016, 140 p.
14. Londonskaya birzha tsvetnykh metallov [London stock exchange of non-ferrous metals] [Electronic media]. URL: <http://metallischekiy-portal.ru/index-cen-lme> (Accessed January 25, 2020).
15. Golikova A.V., Klimenko E.V. Osobennosti sovremennykh sistem avtomatizirovannogo proektirovaniya: analiz i praktika primeneniya [Features of modern computer-aided design systems: analysis and application practice] [Electronic media]. URL: <http://files.scienceforum.ru/pdf/2014/5804.pdf> (Accessed January 25, 2020).

Информация об авторах

Мухутдинов Аглям Рашидович – д. т. н., профессор кафедры технологии твердых химических веществ, Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, e-mail: muhutdinov@rambler.ru
Ефимов Максим Геннадьевич – ассистент кафедры технологии твердых химических веществ, Казанский научно-исследовательский технологический университет, г. Казань, e-mail: jero07@bk.ru

Вахидова Зулфия Рашидовна – доцент кафедры таможенного дела, Казанский кооперативный институт (филиал) автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования Центросоюза Российской Федерации «Российский университет кооперации», г. Казань, e-mail: MRZulphiya@rambler.ru

Information about the authors

Aglam R. Mukhutdinov – Doctor of technical sciences, Professor of the Department Technologies of solid chemical substances, Kazan National Research Technological University, Kazan, e-mail: muhutdinov@rambler.ru
Maksim G. Efimov – Assistens of the Department Technologies of solid chemical substances, Kazan National Research Technological University, Kazan, e-mail: jero07@bk.ru

Zulfia R. Vakhidova – associate Professor of the Department Customs matter, Kazan cooperative Institute (branch) of the Autonomous non-profit educational organization of higher education of the Centrosoyuz of the Russian Federation “Russian University of cooperation”, e-mail: MRZulphiya@rambler.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.2(66).37-42

УДК 004.94, 539.3

Моделирование схемы замещения высоковольтной изоляции, содержащей несколько включений (локальных неоднородностей)

С. М. Куценко, Н. Н. Климов✉

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉ klinn42@mail.ru

Резюме

Существует множество методов оценки состояния высоковольтной изоляции. Все они прямо или косвенно регистрируют поверхностные частичные разряды или частичные разряды, которые образуются на поверхности и/или внутри диэлектрика. Одной из причин деструкции изоляции как раз и является большое количество подобных разрядных процессов. Проведенное моделирование схемы замещения высоковольтной изоляции позволяет, самое главное, провести временной анализ переходного процесса, происходящего при подаче импульсного напряжения на высоковольтную изоляцию, увидеть и оценить время переходного процесса от начала моделирования до наступления устойчивого режима работы модели. В статье приводятся режимы работы схемы, которые имитируют образование частичного разряда посредством работы электронного ключа или ключей в случае моделирования двух включений (двух частичных разрядов). Схема замещения изоляционного промежутка, используемая при моделировании, основана на классической теории образования частичных разрядов в высоковольтной изоляции, но с учетом особенностей, которые позволяют добиться более достоверных результатов, совпадающих с экспериментальными данными. Также модель дает возможность оценить временные параметры разряда с помощью изменения электрических величин элементов схемы замещения. В результате можно сделать вывод о наличии и примерном количестве частичных разрядов внутри изоляции. Отмечены значительные отличия между временем переходного процесса у схем, содержащих разное количество локальных неоднородностей (включений). Такой анализ, как оценка длительности переходного процесса, несомненно, можно использовать в качестве одного из критериев диагностики состояния высоковольтной изоляции, и на его основании делать выводы о дальнейшей ее эксплуатации, планировать сроки замены изоляции.