

Автоматизация инженерных расчетов

С. В. Зузанская, С. А. Иванов, Н. С. Быков, Р. Н. Зарипова

Альметьевский государственный технологический университет «Высшая Школа Нефти»

Кафедра автоматизации и информационных технологий

Email: sofiya.zuzych@mail.ru

Аннотация

В настоящее время большое внимание уделяется совершенствованию технологии производственных процессов, поскольку от них зависит эффективность предприятия в целом. В свою очередь задачи, которые предстоит решать на производстве, постоянно усложняются, что и обуславливает актуальность данной темы. Автоматизация инженерных расчетов позволяет эффективнее использовать ресурсы и сокращать затраты на персонал, что делает процесс проектирования более эффективным и экономичным.

Общая постановка проблемы

Автоматизация инженерных расчетов (АИР) подразумевает под собой использование специализированного программного обеспечения для выполнения различных инженерных расчетов. Это позволяет ускорить процесс проектирования и снизить вероятность ошибок. Программное обеспечение для автоматизации инженерных расчетов может включать в себя различные инструменты и функции, такие как расчеты прочности материалов, теплообмена, динамики систем и другие. Оно позволяет инженерам быстро и эффективно проводить сложные расчеты, а также анализировать результаты и принимать обоснованные проектные решения [1].

Преимущества автоматизации инженерных расчетов включают в себя повышение производительности, снижение затрат времени и ресурсов, улучшение точности результатов расчетов и упрощение процесса проектирования.

АИР также обеспечивает возможность повторного использования расчетных моделей и данных, что позволяет экономить время на выполнении повторяющихся расчетов. Это особенно ценно при работе над различными проектами или при внесении изменений в проектные решения. Благодаря автоматизации, инженеры могут быстро пересчитывать данные и оценивать различные варианты проектирования без необходимости начинать с нуля.

Еще одним важным аспектом автоматизации инженерных расчетов является возможность проведения анализа чувствительности. Благодаря специализированным инструментам, инженеры могут быстро оценить влияние изменения различных параметров на результаты расчетов. Это помогает принимать обоснованные

проектные решения, учитывая различные условия и требования [2].

Важно отметить, что автоматизация инженерных расчетов позволяет сократить вероятность ошибок и упростить процесс верификации и валидации результатов. Специализированное программное обеспечение обеспечивает более надежные и точные расчеты, что помогает предотвращать ошибки и несоответствия в проектных решениях. Таким образом, автоматизация инженерных расчетов является важным инструментом для повышения качества и эффективности работы инженеров в различных областях промышленности и проектирования.

Еще одним важным аспектом автоматизации инженерных расчетов является возможность интеграции с другими программными продуктами, такими как CAD или PLM системы. Это позволяет автоматически передавать данные между различными приложениями, ускоряя процесс проектирования и улучшая взаимодействие между разными отделами компании. Благодаря автоматизированным инженерным расчетам, возможно создать единое информационное пространство, которое упрощает совместную работу и обмен данными между специалистами.

Сегодня для выполнения широкого спектра инженерных задач используют множество компьютерных программ. Примерами таких программ являются:

- Maxima, Scilab, Freemat, Octave, SPSS, Maple, Mathematica, Matlab, MathCad и т. д. для решения математических и статистических задач;
- Vsim, Abinit, CRYSTAL, AnyLogic, Simplex3, Simula, Adams и т. д. для моделирования физических процессов;
- КОМПАС-3D, NanoCAD 3D, SolidWorks, SolidEdge, AutoCAD и т. д. для

систем автоматизированного проектирования (САПР);

- Компас-Электрик, nanoCAD Электро, SOLIDWORKS Electrical Schematics и т. д. для электрической схемотехники и многие другие.

Maple – пакет прикладных программ, предназначенный для решения задач математики, используя символьные, численные методы, а также визуализацию. Maple позволяет решать задачи практически из любой области математики или области, которая опирается на математику, таких, как исчисление, алгебра, дифференциальные уравнения, статистика, дизайн управления, линейная алгебра, физика, оптимизация, теория групп, дифференциальная геометрия, обработка сигналов, специальные функции, теория чисел, финансовое моделирование и т. д.

Mathematica – пакет прикладных программ, предназначенный для решения задач различных областей математики (обработки изображений, сигналов и др.), используя символьные, численные методы, а также визуализацию. Mathematica может подключаться более чем 180 файловым форматам, другим языкам, Wolfram Data Drop, API, базам данных, программам, интернету вещей, устройствам и даже распределённым копиям самой себя. [2]

MATLAB – это язык инженерных расчетов, графические приложения (приложения с графическим интерфейсом), средства разработки программного обеспечения. Полноценный фреймворк для разработки систем и обучения алгоритмов с искусственным интеллектом на больших данных для задач машинного зрения, обработки сигналов, систем управления и анализа текстовых данных.

Mathcad – это приложение для математических и инженерных вычислений, промышленный стандарт проведения, распространения и хранения расчетов. Mathcad – продукт компании PTC – мирового лидера разработки систем САПР, PDM и PLM. Он обеспечивает уникальную, интуитивную инженерную среду, которая позволяет быстро осуществлять важные инженерные вычисления, в том числе и разработку технического задания, анализ исходных данных, выбор методов решения, уравнений, обоснование допущений, а также обмениваться этими вычислениями. [2]

MS Excel – табличный процессор, входящий в комплект Microsoft Office и предназначенный для обработки информации, представленной в табличной форме. MS Excel специализирован для выполнения вычислений с табличными данными, имеет большое количество встроенных функций для математических, технических, статистических, финансовых и других вычислений [3].

Исследования

Рассмотрим несколько примеров решений простейших инженерных задач с помощью Mathcad, MS Excel и Matlab.

Задача №1. Цех малого предприятия должен изготовить 100 изделий трех типов (x_1 , x_2 , x_3) и не менее 20 штук изделий каждого типа. На изделия уходит 4, 3,4 и 2 кг металла соответственно, при его общем запасе 340 кг, а также расходуются по 4,75, 11 и 2 кг пластмассы, при ее общем запасе 700 кг. Прибыль, полученная от каждого изделия, равна 4, 3 и 2 руб. Определить, сколько изделий каждого типа необходимо выпустить для получения максимальной прибыли в рамках установленных запасов металла и пластмассы.

Эта задача относится к очень широкому классу задач, получившему название «оптимальный план производства при ограниченных ресурсах». Очевидно, что линейные ограничения могут распространяться не только на сырьевые ресурсы, но и на оборудование, людские ресурсы и т.д.

Решение.

Фрагмент документа MathCAD, решающий эту задачу, показан на рис. 1. В конце фрагмента выполнена проверка найденного решения (56, 20, 24). Видно, что по требуемому количеству металла (340 кг) достигнут уровень запаса – 340 кг (такое ограничение называют активным).

Задача №2. Вычисление и оценка числовых значений параметров, характеризующих выборку.

Рассмотрим применение выборочного метода в анализе данных.

Генеральная совокупность представляет собой все измерения в пределах от 35,1 до 36,9 мм. Для решения задачи мы проводим случайный отбор $n = 200$ валиков, что образует выборку. Диаметры этих валиков составляют вариационный ряд, который мы группируем в $k = 10$ равновеликих интервалов (рис. 2).

После группировки проводим анализ данных, определяя параметры распределения случайных погрешностей.

Решение. Как видно из рисунка 2 размах выборки составляет $L = X_{\max} - X_{\min} = 36,9 - 35,1 = 1,8$ мм. Если число интервалов $k = 10$, то ширина каждого из них составит $h = \frac{L}{k} = \frac{1,8}{10} = 0,18$ мм. С целью облегчения вычислительных работ составляем новую таблицу (рис. 3).

Вычисляем точечные оценки выборочного среднего и выборочной дисперсии, выборочное среднее квадратичное отклонение (стандарт), величину коэффициента вариации, расчетные значения асимметрии и эксцесса, а также значения теоретических дисперсий асимметрии и эксцесса по формулам (рис. 4).

$$\begin{aligned}
 f(x_1, x_2, x_3) &:= 4 \cdot x_1 + 3 \cdot x_2 + 2 \cdot x_3 \\
 x_1 &:= 1 \quad x_2 := 1 \quad x_3 := 1 \\
 \text{Given} \\
 x_1 &\geq 20 \quad x_2 \geq 20 \quad x_3 \geq 20 \\
 4 \cdot x_1 + 3.4 \cdot x_2 + 2 \cdot x_3 &\leq 340 \quad \text{ограничение на металл} \\
 4.75 \cdot x_1 + 11 \cdot x_2 + 2 \cdot x_3 &\leq 700 \quad \text{ограничение на пластмассу} \\
 x_1 + x_2 + x_3 &= 100 \\
 \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} &:= \text{Maximize} \left(f, x_1, x_2, x_3 \right) \quad \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 56 \\ 20 \\ 24 \end{pmatrix} \\
 4 \cdot x_1 + 3.4 \cdot x_2 + 2 \cdot x_3 &= 340 \\
 4.75 \cdot x_1 + 11 \cdot x_2 + 2 \cdot x_3 &= 534 \quad \text{Проверка Ограничений} \\
 x_1 + x_2 + x_3 &= 100
 \end{aligned}$$

Рисунок 1 – Решение задачи оптимального планирования

Вариант №7										
Порядковый № интервала k(i)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число попаданий в интервал p(i)	1	3	10	30	56	55	30	9	4	2
Середина интервалов x(i), мм	35,1	35,3	35,5	35,7	35,9	36,1	36,3	36,5	36,7	36,9

Рисунок 2 - Распределение объёма выборки по интервалам группирования

Порядковый номер интервала, k(i)	Средины интервалов, X(i)	Число попаданий в интервал, p(i)	Значения составляющих, используемых в промежуточных вычислениях			
			p(i)*X(i)	p(i)*X(i)^2	p(i)*X(i)^3	p(i)*X(i)^4
1	35,1	1	35,1	1232,01	43243,551	1517848,64
2	35,3	3	105,9	3738,27	131960,931	4658220,864
3	35,5	10	355	12602,5	447388,75	15882300,63
4	35,7	30	1071	38234,7	1364978,79	48729742,8
5	35,9	56	2010,4	72173,36	2591023,624	93017748,1
6	36,1	55	1985,5	71676,55	2587523,455	93409596,73
7	36,3	30	1089	39530,7	1434964,41	52089208,08
8	36,5	9	328,5	11990,25	437644,125	15974010,56
9	36,7	4	146,8	5387,56	197723,452	7256450,688
10	36,9	2	73,8	2723,22	100486,818	3707963,584
СУММА		200	7201	259289,12	9336937,906	336243090,7

Рисунок 3 - Значения составляющих, необходимых для определения точечных оценок параметров распределения

Если сравнить вычисленные значения асимметрии и эксцесса со значениями, выведенными из квадратных корней, их только что найденных дисперсии, то убедимся в следующем (рис.5):

Принимая уровни значимости $\alpha = 0,2$ и $\alpha = 0,3$ из таблицы квантилей распределения Колмогорова $\lambda_{1-\alpha}$ найдём, что $\lambda_{p=0,8} = 1,07$ и $\lambda_{p=0,7} = 0,97$. Сравнив, придём к выводу, что вычисленное λ не превышает табличных значений $\lambda_{0,8}$ и $\lambda_{0,7}$. Задача решена.

Файл		Главная		Вставка		Разметка страницы		Формулы		Данные		Рецензирование		Вид	
Вставить		Буфер обмена		Шрифт		Выравнивание									
B6				fx		=(1/('таблица 1'!B9-1))*('таблица 2'!E13-('таблица 2'!D13									
A		B		C		D		E		F		G			
1		вычисляем точные оценки выборочного среднего и выборочной дисперсии по формулам													
2															
3		$\bar{X} =$		36,005 мм											
4															
5		выборочная дисперсия будет равна													
6		$s^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^k p_i x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^k p_i x_i)^2}{n} \right] - \frac{h^2}{12} =$		0,0833 мм^2											
7		$S = \sqrt{s^2} \approx$		0,289 мм											
8		величина коэффициента вариации													
9		$V = \frac{\sigma}{\bar{X} - X_0} \approx$		0,319											
10		асимметрия													
11		$A = \frac{1}{s^3} \left[\frac{\sum_{i=1}^k p_i x_i^3}{n} - \frac{3 \sum_{i=1}^k p_i x_i^2 \sum_{i=1}^k p_i x_i}{n^2} + \frac{2 (\sum_{i=1}^k p_i x_i)^3}{n^3} \right] =$		0,14333095											
12		эксцесс													
13		$E = \frac{1}{s^4} \left[\frac{\sum_{i=1}^k p_i x_i^4}{n} - \frac{4 \sum_{i=1}^k p_i x_i^3 \sum_{i=1}^k p_i x_i}{n^2} + \frac{6 \sum_{i=1}^k p_i x_i^2 (\sum_{i=1}^k p_i x_i)^2}{n^3} - \frac{3 (\sum_{i=1}^k p_i x_i)^4}{n^4} \right] - 3 =$		0,83											
14		теоретическая дисперсия асимметрии													
15		$D(A) = \frac{6 * (n-1)}{(n+1) * (n+3)} =$		0,0293											
16		теоретическая дисперсия эксцесса													
17		$D(E) = \frac{24n * (n-2) * (n-3)}{(n+1)^2 * (n+3) * (n+5)} =$		0,11136											
18															
19															
20		сравнение вычисленных значений и их дисперсий:													
21		$ A =$		0,14333		$ A \leq 3\sqrt{D(A)}$									
22		$ E =$		0,8310											
23		$3\sqrt{D(A)} =$		0,513		$ E \leq 5\sqrt{D(E)}$									
24		$5\sqrt{D(E)} =$		1,67											
25															
		таблица 1		таблица 2		рассчеты		таблица 3							

Рисунок 4 – Пример вычислений в MS Excel

Задача №3. Пример расчета надежности автоматизированной системы управления технологическими процессами (рис. 6). Необходимо определить вероятность безотказной работы АСУТП за время 1000 ч, если известно:

- интенсивность отказов РСУ составляет $2,03 \cdot 10^{-3}$ 1/ч,
- интенсивность отказов ПА3 составляет $3,63 \cdot 10^{-4}$ 1/ч,

- интенсивность отказов станции оператора DOCSt равна $0,7145 \cdot 10^{-5}$ 1/ч,
- интенсивность отказа станции оператора OCSt равна $0,4763 \cdot 10^{-5}$ 1/ч,
- интенсивность отказа соединения станции оператора DOCSt, инженерной станции SENG, рабочей станции EWS - $0,3572 \cdot 10^{-5}$ 1/ч,
- интенсивность отказа рабочей станции PRM составляет $1,43 \cdot 10^{-5}$ 1/ч,
- интенсивность отказа коммутатора составляет $2 \cdot 10^{-5}$ 1/ч. [5]

15	вычисления и значения для таблицы							
16								
17	$p =$	0,95	$\alpha =$	0,05		$\lambda = \frac{nD_{10}}{\sqrt{n}}$	0,352987705	
18								
19	$P(x_i \leq X \leq x_{i+1}) = \Phi\left(\frac{x_{i+1}-x}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{x_i-x}{\sigma}\right)$							
20								
21	35	первая скобка	вторая скобка	$\Phi(1)$	$\Phi(2)$			
22	35,1	-2,789075563	-3,482013591	-0,4973	-0,49966	$P_{T1} =$	0,00236	
23	35,2			-0,4772	-0,4973	$P_{T2} =$	0,0201	
24	35,3	-2,096137535	-2,789075563	-0,4192	-0,4821	$P_{T3} =$	0,0629	
25	35,4			-0,2611	-0,4207	$P_{T4} =$	0,1596	
26	35,5	-1,403199507	-2,096137535	-0,008	-0,2611	$P_{T5} =$	0,2531	
27	35,6			0,2517	-0,008	$P_{T6} =$	0,2597	
28	35,7	-0,710261479	-1,403199507	0,4147	0,2517	$P_{T7} =$	0,163	
29	35,8			0,4803	0,4147	$P_{T8} =$	0,0656	
30	35,9	-0,017323451	-0,710261479	0,4971	0,4812	$P_{T9} =$	0,0159	
31	36			0,49966	0,4971	$P_{T10} =$	0,00256	
32	36,1	0,675614577	-0,017323451					
33	36,2							
34	36,3	1,368552605	0,675614577					
35	36,4							
36	36,5	2,061490633	1,368552605					
37	36,6							
38	36,7	2,754428661	2,061490633					
39	36,8							
40	36,9	3,447366689	2,754428661					
41	37							

Рисунок 5 – Вероятность реализации

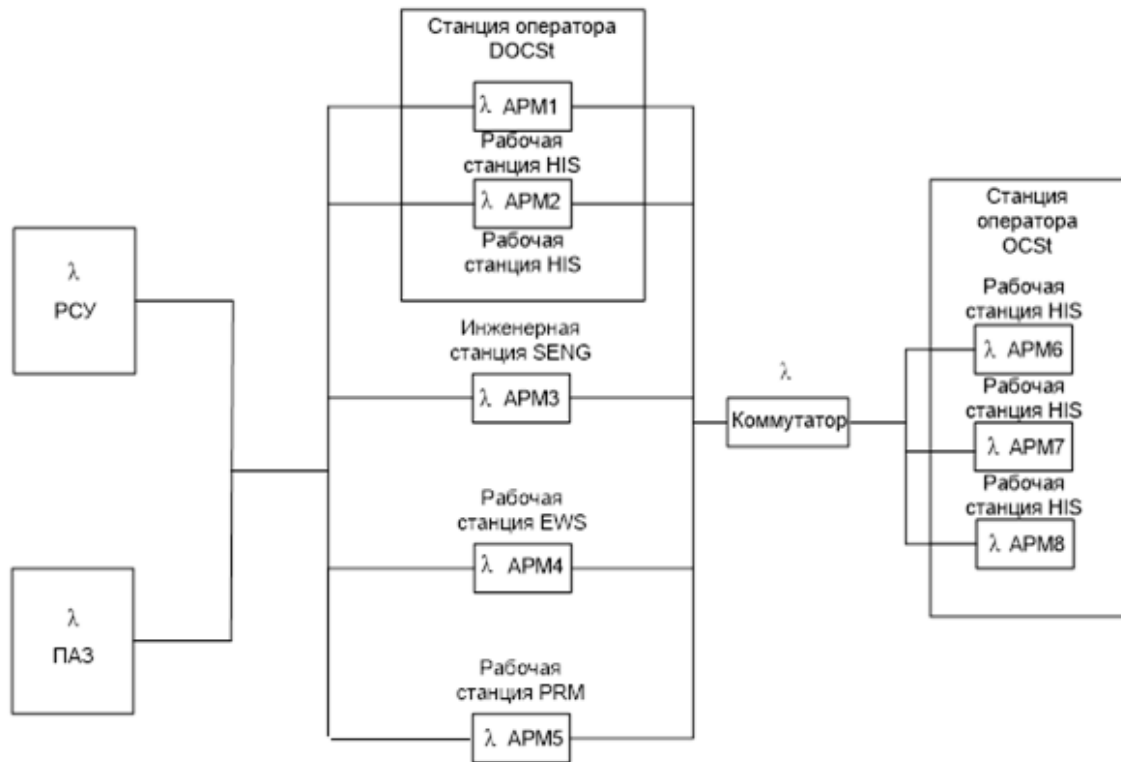


Рисунок 6 – Структурная схема АСУТП

Решение поставленной задачи предлагается реализовать в среде Simulink (рис. 7). Это расширение MATLAB, реализующее математические операции с помощью стандартных блоков, где представляется каждая элементарная операция. В качестве входных данных необходимые выступают исходные

данные, в качестве выхода блока выступает результат математической реализации установленной операции. Для организации ввода исходных данных и представления результатов расчетов вполне достаточно стандартных инструментов Simulink [6].

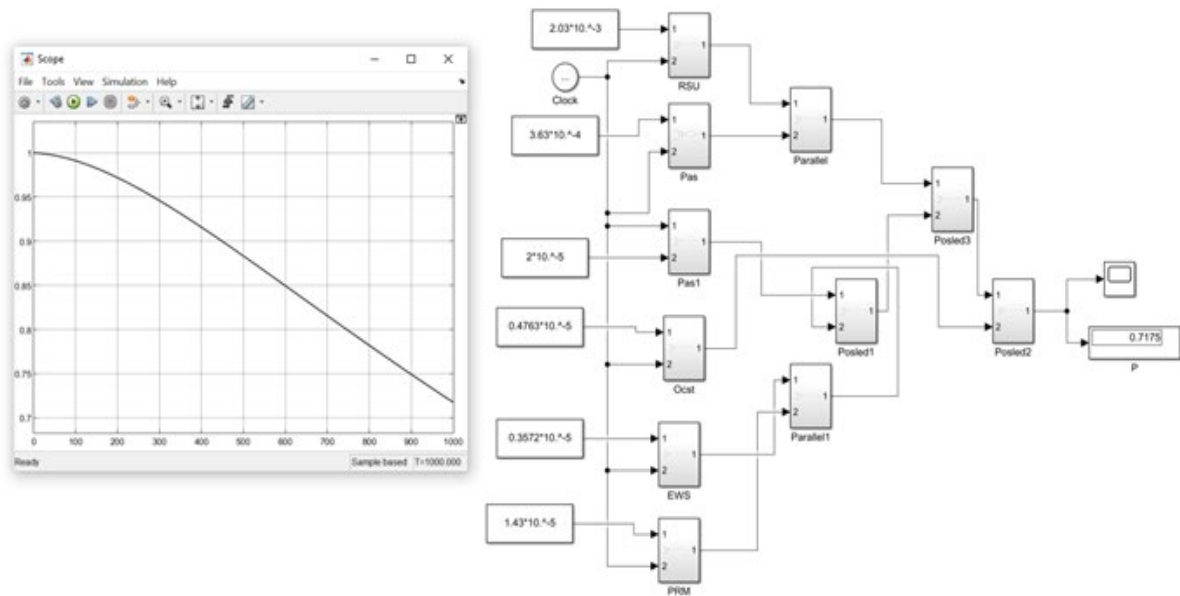


Рисунок 7 – Simulink-алгоритм расчета вероятности безотказной работы системы

Выводы

Таким образом преимуществом автоматизации инженерных расчетов является минимальная вероятность ошибки в вычислениях, а также возможность создания шаблонов и скриптов, которые можно использовать повторно для различных проектов. Это значительно упрощает процесс проектирования и ускоряет выполнение расчетов, так как инженерам не нужно каждый раз создавать расчетные модели с нуля.

Благодаря автоматизации, можно создать стандартные процедуры и алгоритмы, которые помогают сохранить единообразие в расчетах и обеспечивают более высокую точность результатов. АИР помогает снизить издержки на проектирование и уменьшить время на разработку новых продуктов.

Благодаря ускоренному процессу расчетов и анализа, компании могут быстрее вывести продукцию на рынок, что дает им конкурентное преимущество.

Кроме того, автоматизация позволяет эффективнее использовать ресурсы и сокращать затраты на персонал, что делает процесс проектирования более эффективным и экономичным. В целом, автоматизация инженерных расчетов становится неотъемлемой частью современного проектирования и помогает компаниям быть более конкурентоспособными на рынке.

Литература

1. Хамхоева, Ф. Я. Преимущества использования автоматизации производства в современных условиях в аспекте управления предприятием / Ф. Я. Хамхоева // Вестник Российского университета кооперации, 2021. – №2. – С. 88-91.
2. Некрасова, И. И. Автоматизация инженерных расчетов и построений как инструмент оптимизации решения профессиональных задач инженером путей сообщения / И. И. Некрасова, Р. А. Овчинников // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения, 2019. – №4. – С. 12-21.
3. Лекомцев, П. Л. Инженерные прикладные программы / П. Л. Лекомцев, М. А. Ниязов, Н. Л. Олин. - Ижевск: Изд-во ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2020. - 12 с.
4. Чарикова, И. Н. Автоматизация инженерных расчетов средствами MS Excel и Mathcad :учебное пособие / И. Н. Чарикова, Н. Н. Манаева. – Оренбург: Оренбургский гос. ун-т. ОГУ, 2019. – 7 с.
5. Зарипова, Р. Н. Применение matlab/simulink для анализа надежности систем / Р. Н. Зарипова, Н. Н. Алаева // Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли, 2022. – С. 378-384.
6. Кривель, С. М. Анализ структурной схемы надежности технических систем с использованием SIMULINK / С. М. Кривель // Вестник ИрГТУ, 2018. - Т.22. – №6. – С. 85-97.

Зузанская С. В., Иванов С. А., Быков Н. С., Зарипова Р. Н. Автоматизация инженерных расчетов. В настоящее время большое внимание уделяется совершенствованию технологии производственных процессов, поскольку от них зависит эффективность предприятия в целом. В свою очередь задачи, которые предстоит решать на производстве, постоянно усложняются, что и обуславливает актуальность данной темы. Благодаря ускоренному процессу расчетов и анализа, компании могут быстрее вывести продукцию на рынок, что дает им конкурентное преимущество. Автоматизация инженерных расчетов позволяет эффективнее использовать ресурсы и сокращать затраты на персонал, что делает процесс проектирования более эффективным и экономичным. В целом, автоматизация инженерных расчетов становится неотъемлемой частью современного проектирования и помогает компаниям быть более конкурентоспособными на рынке.

Ключевые слова: Автоматизация, задача, модель, данные, программное обеспечение.

Zuzanskaya S. V., Ivanov S. A., Bykov N. S., Zaripova R. N. Automation of engineering calculations. Nowadays, much attention is paid to improving the technology of production processes, since the efficiency of the enterprise as a whole depends on them. In turn, the tasks to be solved in production are constantly becoming more complex, which determines the relevance of this topic. Thanks to the accelerated calculation and analysis process, companies can bring products to market faster, which gives them a competitive advantage. Automation of engineering calculations makes it possible to use resources more efficiently and reduce personnel costs, which makes the design process more efficient and economical. In general, automation of engineering calculations is becoming an integral part of modern design and helps companies to be more competitive in the market.

Keywords: Automation, task, model, data, software.

Статья поступила в редакцию 05.06.2024
Рекомендована к публикации профессором Павлышом В. Н.