

УДК 621.3

**ФИЛОСОФСКИЕ И ОБЩЕНАУЧНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА****Мальцев Андрей Анатольевич,**доцент кафедры ФН-7 МГТУ имени Н.Э. Баумана,  
e-mail: a.a.mal@bmstu.ru**Аннотация**

Проведен логико-дидактический анализ лекционного занятия на тему «Философские и общенаучные методы исследования автоматизированного электропривода» на этапе проектирования учебной дисциплины «Основы научных исследований», относящейся к специализации «Электропривод и автоматика» в рамках специальности «Электроэнергетика и электротехника».

**Ключевые слова:** учебная дисциплина, электропривод, философия.

**PHILOSOPHICAL AND GENERAL SCIENTIFIC METHODS OF  
AUTOMATED ELECTRIC DRIVE RESEARCH****Andrey A. Maltsev,**associate professor of BMSTU ФН-7 department,  
e-mail: a.a.mal@bmstu.ru**ABSTRACT**

A logical and didactic analysis of a lecture session on the topic "Philosophical and general scientific methods of research of an automated electric drive" was carried out at the design stage of the academic discipline "Fundamentals of scientific research" related to the specialization "Electric drive and automation" within the framework of the specialty "Electric Power and electrical engineering".

**Keywords:** academic discipline, electric drive, philosophy.

Логико-дидактический анализ лекционного занятия представляет собой деятельность преподавателя по выявлению структуры учебного материала и выполнению его методической обработки, подчиняющейся логике процесса обучения по дисциплине «Основы научных исследований», целям и задачам обучения, определенным рабочей программой этой дисциплины [1]. Умение проводить логико-дидактический анализ

учебного материала – это основное умение преподавателя, на которое опираются все остальные его методические умения [2].

Лекционное занятие на тему «Философские и общенаучные методы исследования автоматизированного электропривода» проектируется с целью формирования у студентов навыков научного критического мышления в областях электроэнергетики, электротехники и электроники. Философия способствует развитию у обучаемых творческого мышления, является основой любой профессиональной деятельности.

В качестве объекта философского и научного исследования выступает современный автоматизированный электропривод – «электромеханическая система, в которой электрические и механические элементы находятся в тесном взаимодействии и важнейшим свойством которой является управляемость, необходимая для реализации целенаправленного протекания обеспечиваемого им технологического процесса» [3].

Прежде всего студентам нужно будет объяснить, что «Граница между философией и наукой – по объектам их исследования – исчезает, когда дело идет об общих вопросах естествознания. Временами даже называют эти обобщающие научные представления философией науки» [4]. Известны два философских метода – диалектический и метафизический, последний все больше вытесняется из естествознания диалектическим методом.

Диалектико-материалистический подход к изучению теоретических основ электротехники (ТОЭ) предполагает материю первичным философским вопросом, требующим скрупулезного научного исследования и эффективного решения, в отличие от идеалистического подхода, рассматривающего весь наш материальный мир как результат божественной идеи.

Лектору необходимо будет выделить следующие общенаучные методы, используемые в ТОЭ и направленные на изучение электромеханических и электромагнитных процессов: наблюдение, обобщение, измерение, анализ, синтез, дедукция, индукция, аналогия, моделирование, абстрагирование, идеализация, формализация, прогнозирование. Каждый из этих методов имеет свои особенности и может быть использован для всестороннего исследования автоматизированного электропривода.

По мнению автора, уже на первом лекционном занятии особое внимание целесообразно уделить философским аспектам метода математического моделирования – наиболее эффективному методу научного познания сути переходных процессов, протекающих в автоматизированном электроприводе, на стадии его конструирования. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине «Основы научных исследований», являющийся дополнением к рабочей программе дисциплины, содержит контрольные вопросы и задачи, связанные с математическим моделированием переходных процессов в программных средах MathCAD, MATLAB/Simulink, Multisim [5].

В качестве примера на лекции может быть рассмотрена крутильно-колебательная математическая модель электропривода рабочих валков металлопрокатного стана (рис. 1).

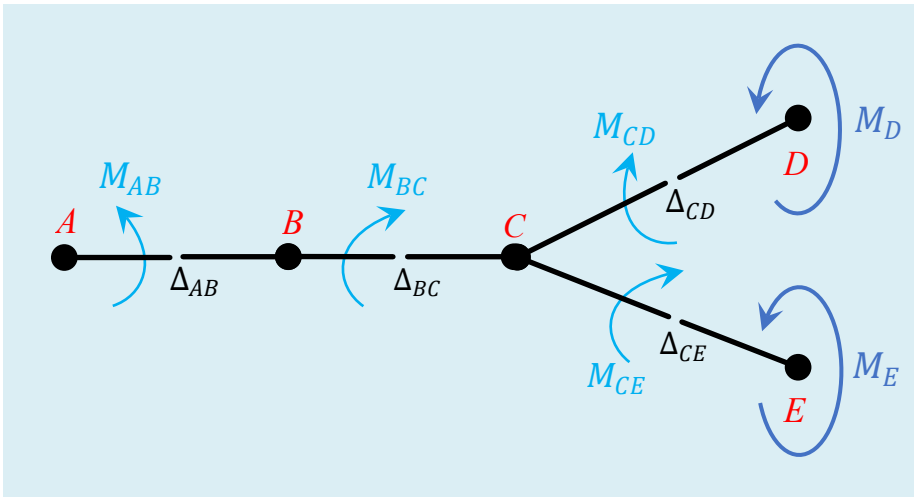


Рисунок 1. Расчетная схема электропривода:

- $M_D$  – момент прокатки, приложенный к диску D;
- $M_E$  – момент прокатки, приложенный к диску E;
- $M_{AB}$  – упругодемпфирующий момент связи AB;
- $M_{BC}$  – упругодемпфирующий момент связи BC;
- $M_{CD}$  – упругодемпфирующий момент связи CD;
- $M_{CE}$  – упругодемпфирующий момент связи CE;
- $\Delta_{AB}$  – люфт в связи AB;
- $\Delta_{BC}$  – люфт в связи BC;
- $\Delta_{CD}$  – люфт в связи CD;
- $\Delta_{CE}$  – люфт в связи CE

Для расчетной крутильно-колебательной схемы объекта-оригинала (см. рис. 1) справедлива следующая математическая запись:

$$\frac{d\varphi_A(t)}{dt} = 2;$$

$$J_B \cdot \frac{d^2\varphi_B(t)}{dt^2} - M_{AB}(t) + M_{BC}(t) = 0;$$

$$J_C \cdot \frac{d^2\varphi_C(t)}{dt^2} - M_{BC}(t) + M_{CD}(t) + M_{CE}(t) = 0;$$

$$J_D \cdot \frac{d^2\varphi_D(t)}{dt^2} - M_{CD}(t) = -\frac{M_{\Pi}}{2} \left( 1 - \exp\left(-\frac{t}{0.45 \cdot T_{\text{зак}}}\right) \right);$$

$$J_E \cdot \frac{d^2\varphi_E(t)}{dt^2} - M_{CE}(t) = -\frac{M_{\Pi}}{2} \left( 1 - \exp\left(-\frac{t}{0.45 \cdot T_{\text{зак}}}\right) \right);$$

$$M_{AB}(t) = \begin{cases} C_{AB} \left( \varphi_{AB}(t) - \frac{\Delta_{AB}}{2} \right) + \beta_{AB} \omega_{AB}(t), & \text{при } \varphi_{AB}(t) \geq \frac{\Delta_{AB}}{2}; \\ 0, & \text{при } -\frac{\Delta_{AB}}{2} < \varphi_{AB}(t) < \frac{\Delta_{AB}}{2}; \\ C_{AB} \left( \varphi_{AB}(t) + \frac{\Delta_{AB}}{2} \right) + \beta_{AB} \omega_{AB}(t), & \text{при } \varphi_{AB}(t) \leq -\frac{\Delta_{AB}}{2}; \end{cases}$$

$$M_{BC}(t) = \begin{cases} C_{BC} \left( \varphi_{BC}(t) - \frac{\Delta_{BC}}{2} \right) + \beta_{BC} \omega_{BC}(t), & \text{при } \varphi_{BC}(t) \geq \frac{\Delta_{BC}}{2}; \\ 0, & \text{при } -\frac{\Delta_{BC}}{2} < \varphi_{BC}(t) < \frac{\Delta_{BC}}{2}; \\ C_{BC} \left( \varphi_{BC}(t) + \frac{\Delta_{BC}}{2} \right) + \beta_{BC} \omega_{BC}(t), & \text{при } \varphi_{BC}(t) \leq -\frac{\Delta_{BC}}{2}; \end{cases}$$

$$M_{CD}(t) = \begin{cases} C_{CD} \left( \varphi_{CD}(t) - \frac{\Delta_{CD}}{2} \right) + \beta_{CD} \omega_{CD}(t), & \text{при } \varphi_{CD}(t) \geq \frac{\Delta_{CD}}{2}; \\ 0, & \text{при } -\frac{\Delta_{CD}}{2} < \varphi_{CD}(t) < \frac{\Delta_{CD}}{2}; \\ C_{CD} \left( \varphi_{CD}(t) + \frac{\Delta_{CD}}{2} \right) + \beta_{CD} \omega_{CD}(t), & \text{при } \varphi_{CD}(t) \leq -\frac{\Delta_{CD}}{2}; \end{cases}$$

$$M_{CE}(t) = \begin{cases} C_{CE} \left( \varphi_{CE}(t) - \frac{\Delta_{CE}}{2} \right) + \beta_{CE} \omega_{CE}(t), & \text{при } \varphi_{CE}(t) \geq \frac{\Delta_{CE}}{2}; \\ 0, & \text{при } -\frac{\Delta_{CE}}{2} < \varphi_{CE}(t) < \frac{\Delta_{CE}}{2}; \\ C_{CE} \left( \varphi_{CE}(t) + \frac{\Delta_{CE}}{2} \right) + \beta_{CE} \omega_{CE}(t), & \text{при } \varphi_{CE}(t) \leq -\frac{\Delta_{CE}}{2}; \end{cases}$$

где

$\varphi_A$  [рад] – угловая координата диска А;

$\varphi_B$  [рад] – угловая координата диска В;

$\varphi_C$  [рад] – угловая координата диска С;

$\varphi_D$  [рад] – угловая координата диска D;

$\varphi_E$  [рад] – угловая координата диска Е;

$$\varphi_{AB}(t) = \varphi_A(t) - \varphi_B(t);$$

$$\varphi_{BC}(t) = \varphi_B(t) - \varphi_C(t);$$

$$\varphi_{CD}(t) = \varphi_C(t) - \varphi_D(t);$$

$$\varphi_{CE}(t) = \varphi_C(t) - \varphi_E(t);$$

$$\omega_{AB}(t) = \frac{d}{dt} \varphi_A(t) - \frac{d}{dt} \varphi_B(t);$$

$$\omega_{BC}(t) = \frac{d}{dt} \varphi_B(t) - \frac{d}{dt} \varphi_C(t);$$

$$\omega_{CD}(t) = \frac{d}{dt} \varphi_C(t) - \frac{d}{dt} \varphi_D(t);$$

$$\omega_{CE}(t) = \frac{d}{dt} \varphi_C(t) - \frac{d}{dt} \varphi_E(t);$$

$J_B = 205 \times 10^3$  [кг · м<sup>2</sup>] – осевой момент инерции диска В;

$J_C = 22 \times 10^3$  [кг · м<sup>2</sup>] – осевой момент инерции диска С;

$J_D = 17,5 \times 10^3$  [кг · м<sup>2</sup>] – осевой момент инерции диска D;

$J_E = 17,5 \times 10^3$  [кг · м<sup>2</sup>] – осевой момент инерции диска Е;

$C_{AB} = 2\,350 \times 10^6$  [Н · м/рад] – крутильная жесткость связи АВ;

$C_{BC} = 1\,430 \times 10^6$  [Н · м/рад] – крутильная жесткость связи ВС;

$C_{CD} = 125 \times 10^6$  [Н · м/рад] – крутильная жесткость связи CD;

$C_{CE} = 125 \times 10^6$  [Н · м/рад] – крутильная жесткость связи CE;

$\beta_{AB} = 8 \times 10^5$  [Н · м · с/рад] – параметр демпфирования связи АВ;

$\beta_{BC} = 8 \times 10^5$  [Н · м · с/рад] – параметр демпфирования связи ВС;

$\beta_{CD} = 8 \times 10^5$  [Н · м · с/рад] – параметр демпфирования связи CD;

$\beta_{CE} = 8 \times 10^5$  [Н · м · с/рад] – параметр демпфирования связи CE;

$\Delta_{AB} = 0,01$  [рад] – люфт в связи АВ;

$\Delta_{BC} = 0,01$  [рад] – люфт в связи ВС;

$\Delta_{CD} = 0,01$  [рад] – люфт в связи CD;

$\Delta_{CE} = 0,01$  [рад] – люфт в связи CE.

$M_{AB}(0) = M_{BC}(0) = M_{CD}(0) = M_{CE}(0) = 0$ ;

$\varphi_A(0) = \varphi_B(0) = \varphi_C(0) = \varphi_D(0) = \varphi_E(0) = 0$ ;

$\varphi_{AB}(0) = \varphi_{BC}(0) = \varphi_{CD}(0) = \varphi_{CE}(0) = 0$ ;

$\varphi'_B(0) = \varphi'_C(0) = \varphi'_D(0) = \varphi'_E(0) = 2$ ;

$$\omega_{AB}(0) = \omega_{BC}(0) = \omega_{CD}(0) = \omega_{CE}(0) = 0;$$

$M_{\Pi} = 1\,800 \times 10^3$  [Н·м] – момент прокатки (на оба рабочих валка);

$$T_{\text{зах}} = \frac{\alpha_{\text{зах}}}{\omega} = \frac{\sqrt{R \Delta h}}{v} = 0,06$$
 [с] — время захвата заготовки;

$\alpha_{\text{зах}}$  — угол захвата заготовки рабочими валками;

$\omega$  — угловая скорость вращения рабочих валков;

$v$  — линейная скорость вращения рабочих валков;

$R$  — радиус рабочих валков;

$\Delta h$  — абсолютное обжатие заготовки.

Результаты компьютерного моделирования, полученные в программной среде MathCAD, подтверждают адекватность крутильно-колебательной математической модели, построенной на основании дифференциальных уравнений Лагранжа, объекту-оригиналу (электроприводу металлопрокатного стана) по следующим критериям:

Угловая координата диска А увеличилась от 0 до 2 [рад] за секунду, поскольку привод вращается с угловой скоростью  $\omega = 2$  [рад/с] (рис. 2).

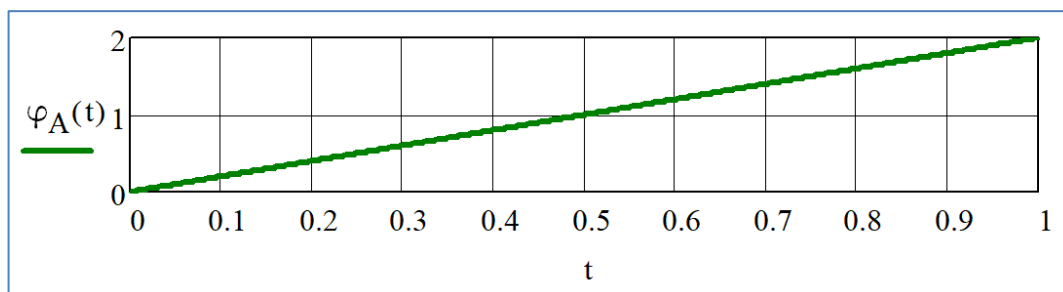


Рисунок 2. Компьютерный график  $\varphi_A(t)$

Угловая координата диска В увеличилась от 0 до 2 [рад] за секунду, поскольку привод вращается с угловой скоростью  $\omega = 2$  [рад/с] (рис. 3).

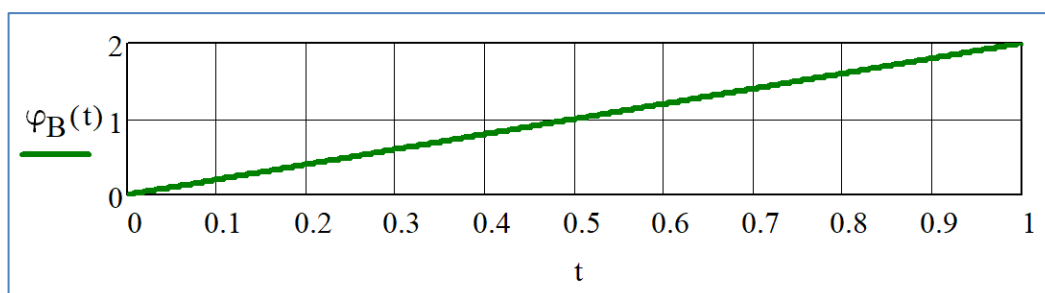


Рис. 3. Компьютерный график  $\varphi_B(t)$

Угловая координата диска С увеличилась от 0 до 2 [рад] за секунду, поскольку привод вращается с угловой скоростью  $\omega = 2$  [рад/с] (рис. 4).

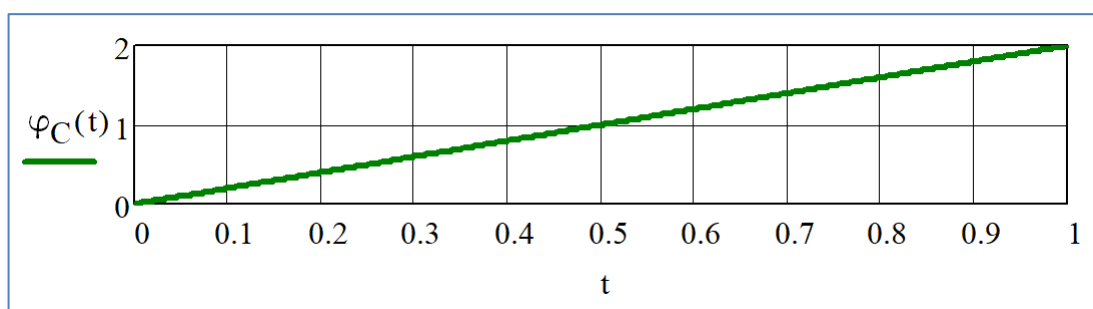


Рис. 4. Компьютерный график  $\varphi_C(t)$

Угловая координата диска D увеличилась от 0 до 2 [рад] за секунду, поскольку привод вращается с угловой скоростью  $\omega = 2$  [рад/с] (рис. 5).

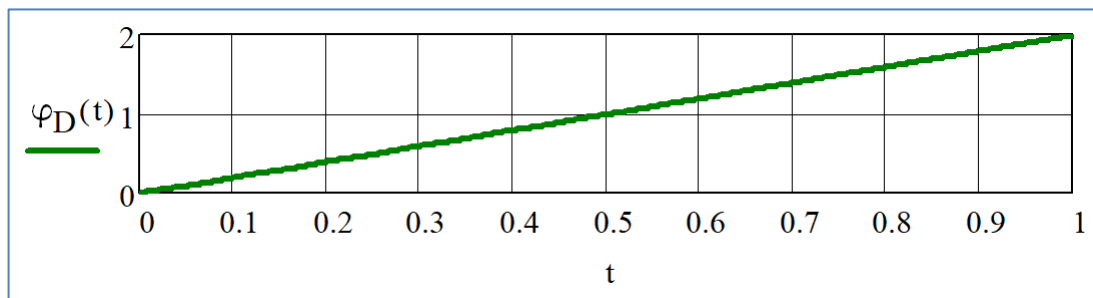


Рис. 5. Компьютерный график  $\varphi_D(t)$

Угловая координата диска E увеличилась от 0 до 2 [рад] за секунду, поскольку привод вращается с угловой скоростью  $\omega = 2$  [рад/с] (рис. 6).

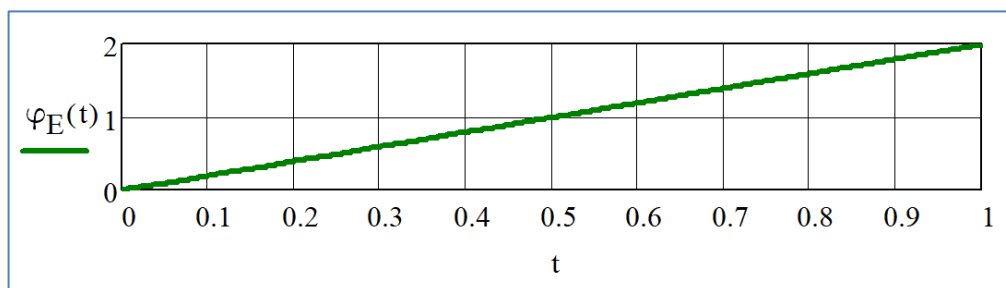


Рис. 6. Компьютерный график  $\varphi_E(t)$

Упругодемпфирующий момент связи AB изменяется в диапазоне от нуля до  $12\,000 \times 10^3$  [Н·м] при установившемся значении  $1\,800 \times 10^3$  [Н·м] (рис. 7).

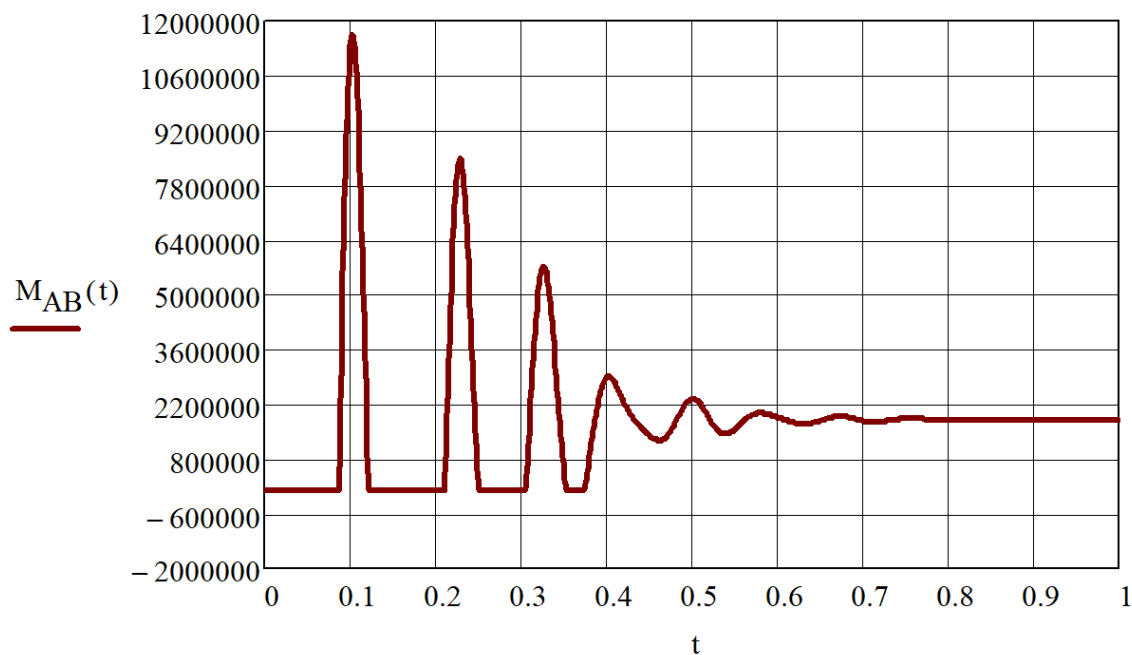


Рис. 7. Компьютерный график  $M_{AB}(t)$ :  
 $K_{AB} \approx 5$  — коэффициент динамичности

Упругодемпфирующий момент связи ВС изменяется в диапазоне от нуля до  $5\,992 \times 10^3$  [Н·м] при установившемся значении  $1\,800 \times 10^3$  [Н·м] (рис. 8).

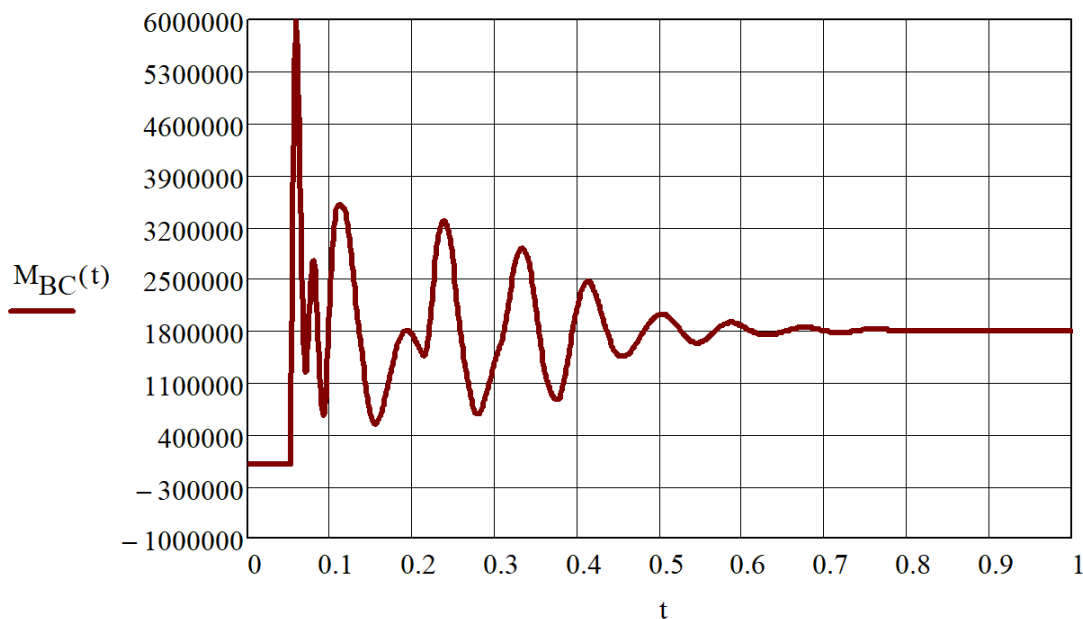


Рис. 8. Компьютерный график  $M_{BC}(t)$ :  
 $K_{BC} \approx 3$  – коэффициент динамичности

Упругодемпфирующий момент связи CD изменяется в диапазоне от нуля до  $1\,948 \times 10^3$  [Н·м] при установившемся значении  $900 \times 10^3$  [Н·м] (рис. 9).

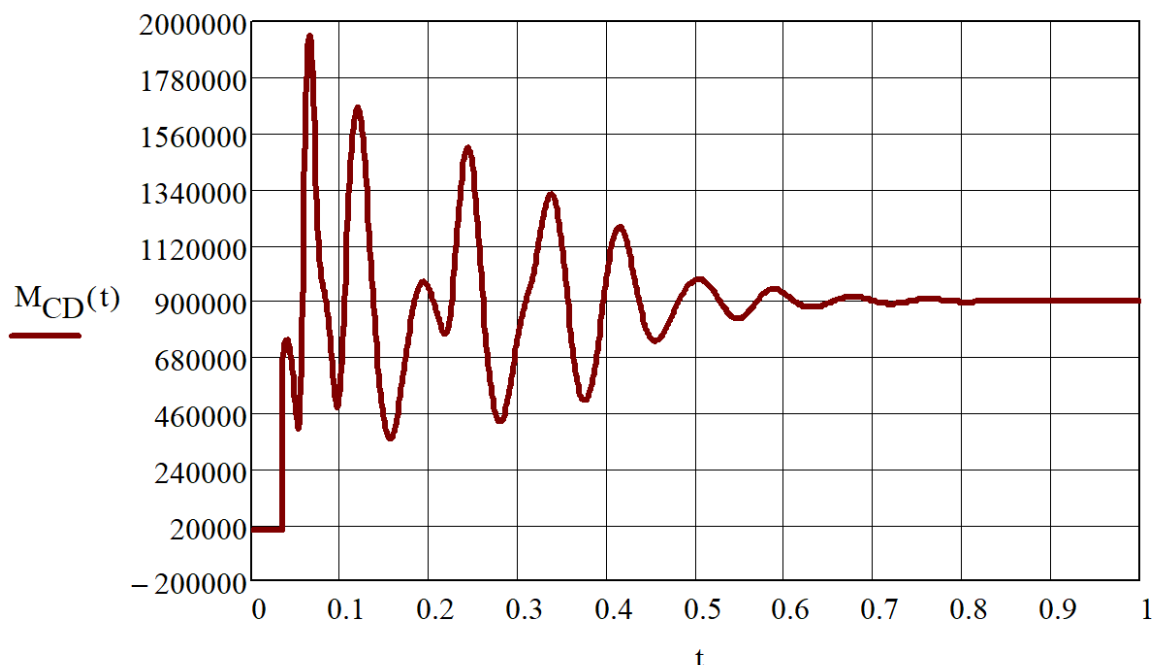


Рис. 9. Компьютерный график  $M_{CD}(t)$ :  
 $K_{CD} \approx 2$  – коэффициент динамичности

Упругодемпфирующий момент связи SE изменяется в диапазоне от нуля до  $1\,948 \times 10^3$  [Н·м] при установившемся значении  $900 \times 10^3$  [Н·м] (рис. 10).

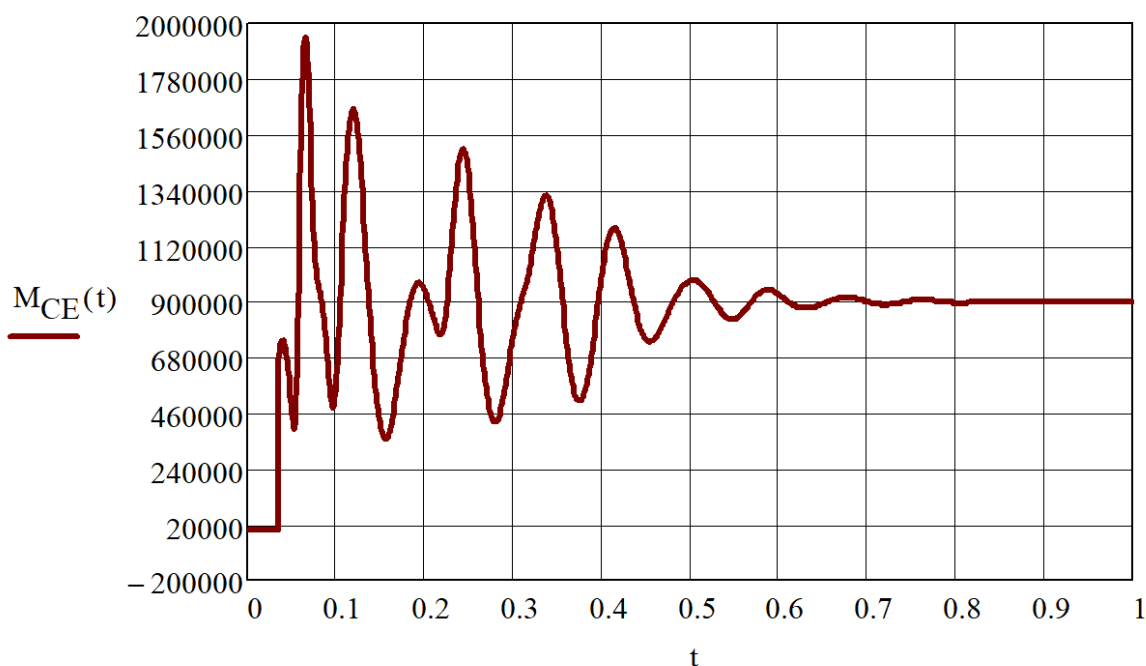


Рис. 10. Компьютерный график  $M_{CE}(t)$ :  
 $K_{CE} \approx 2$  — коэффициент динамичности

Заключение: в результате логико-дидактического анализа появилась возможность систематизации (с учетом междисциплинарных связей) учебного материала для проведения вводного лекционного занятия на тему «Философские и общенаучные методы исследования автоматизированного электропривода» по дисциплине «Основы научных исследований».

#### Список литературы:

1. Мальцев А.А. Разработка программы учебной дисциплины «Основы научных исследований». — [Электронный ресурс] Оригинальные исследования (ОРИС). 2024. Т.14, №04. С.220–223. — Режим доступа: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2024-oris-4-2024/a231547>.
2. Далингер В.А. Обучение будущего учителя математики логико-дидактическому анализу учебного материала. — Международный журнал экспериментального образования. 2015. №5. С.46–48. — Режим доступа: <https://expeducation.ru/ru/article/view?id=7473>.
3. Красовский А.Б. Основы электропривода: учебное пособие. — Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. — 405 с.
4. Вернадский, В. И. Философия науки. Избранные работы / В. И. Вернадский. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 458 с. — (Антология мысли). — ISBN 978-5-534-09119-9. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/538429> (дата обращения: 08.06.2024).
5. Мальцев А.А., Тарасенко И.А. Разработка фонда оценочных средств учебной дисциплины «Основы научных исследований». — [Электронный ресурс] Оригинальные исследования (ОРИС). 2024. Т.14, №05. С.64–69. — Режим доступа: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2024-oris-5-2024/a231562>.

**References:**

1. Maltsev A.A. Development of the curriculum of the discipline "Fundamentals of scientific research". – [Electronic resource] Original research (ORES). 2024. Vol.14, No.04. pp.220-223. – Access mode: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2024-oris-4-2024/a231547> .
2. Dalinger V.A. Training of a future mathematics teacher in the logical and didactic analysis of educational material. – International Journal of Experimental Education. 2015. No.5. pp.46-48. – Access mode: <https://expeducation.ru/ru/article/view?id=7473> .
3. Krasovsky A.B. Fundamentals of electric drive: a textbook. – Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2015. – 405 p.
4. Vernadsky, V. I. Philosophy of science. Selected works / V. I. Vernadsky. – Moscow: Yurait Publishing House, 2024. – 458 p. – (Anthology of thought). – ISBN 978-5-534-09119-9. – Text: electronic // Yurayt educational platform [website]. – URL: <https://urait.ru/bcode/538429> (date of application: 06/08/2024).
5. Maltsev A.A., Tarasenko I.A. Development of a fund of evaluation tools for the academic discipline "Fundamentals of scientific research". – [Electronic resource] Original research (ORES). 2024. vol.14, No.05. pp.64-69. – Access mode: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2024-oris-5-2024/a231562> .