ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ КАДРОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОТРАСЛИ

А. Н. Маматкулов
PhD, доц., Каршинский государственный технический университет, Карши, 180100, Узбекистан;
E-mail: asamnorovich@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-0689-2666
Холиёр Саййид Сафаров
Соискатель, Каршинский государственный технический университет, Карши 180100, Узбекистан;
E-mail: sayyidsafarov23@mail.ru
https://orcid.org/0009-0008-5740-191X
Бобокулова Муҳаббат Маҳаммадиевна
Соискатель, Каршинский государственный технический университет, Карши 180100, Узбекистан;
E-mail: muhabbatbobokulova820@gmail.com

Annotatsiya. Zamonaviy pedagogik texnologiyalardan foydalangan holda o‘qitishda foydalaniladigan yelektr tizimlarida dinamik yuk modellarini tahlil qilish yelektr yenergiyasi tizimlarining dinamik xususiyatlari haqidagi nazariy bilimlarni innovatsion o‘qitish usullari orqali ishlab chiqilgan amaliy ko‘nikmalar bilan birlashtirishni o‘z ichiga oladi. Bunda sistemaga turli xil yuklamalar ulangan sharoitda tizimlarning xatti-harakatlarini o‘rganish uchun simulyatorlar, virtual laboratoriyalar va interaktiv modellardan foydalanish, shuningdek analitik va muammolarni hal qilish ko‘nikmalarini rivojlantirish uchun zamonaviy o‘qitish usullari va tanqidiy fikrlash texnologiyalaridan foydalanish kiradi.

Kalit so'zlar: dinamik yuklama, motorlar, elektr tizimlari, dinamik xususiyatlar, innovatsion usullar, Spiral (regressus, progressus), model, innovatsiya, ishlab chiqarish, energetika.

Аннотация. Анализ моделей динамической нагрузки в электрических системах, применяемый в обучении с использованием современных педагогических технологий, предполагает интеграцию теоретических знаний о динамических характеристиках электроэнергетических систем с практическими навыками, формируемыми с помощью инновационных методов обучения. Это включает в себя использование симуляторов, виртуальных лабораторий и интерактивных моделей для изучения поведения систем при различных условиях нагрузки, а также применение современных методик обучения и технологий критического мышления для развития навыков анализа и решения проблем.

ISSN 3030-3907

Ключевые слова: динамическая нагрузка, двигатели, электрический системы, динамический характеристики, инновационные методы, Spiral (regressus, progressus), модель, инновация, производства, энергетика.

Abstract. in recent years, due to the energy transition taking place in many countries of the world, energy transition processes are taking place in Uzbekistan. The transition is associated with a turn to green energy and serious problems of diversification of energy sources, development of market relations, digitalization and intellectualization of the energy sector. In such conditions, at all stages of the transition, it is necessary to ensure the reliability of electricity supply to consumers and the provision of electric power systems (EPS) in various modes. Therefore, conducting a study on the use of reliable methods for providing consumers with high-quality electrical power, including when operating wind and solar power plants with unstable modes, is relevant. One of such methods is operational demand response.

Keywords: dynamic load, motors, electrical systems, dynamic characteristics, innovative methods, Spiral (regressus, progressus), model, innovation, production, energy.

Введение

Организация образовательного процесса с использованием педагогических технологий на основе системного подхода и его реализация в определенной последовательности важны для студентов, обучающихся в технических вузах. Например, в области электроэнергетики для доведения сложных тем до сознания студентов преподавателю необходимо максимально использовать знания высокого уровня и применить современные педагогические технологии [1]. Эффективная организация учебного процесса связана с:- использованием современных педагогических технологий в образовании;- применением коммуникационных и информационных технологий в процессе занятии;- организация обучения в виртуальной лаборатории и другие [2];

В статье рассматривается анализ моделей динамической нагрузки в электрических системах, применяемый в обучении с использованием современных педагогических технологий, предполагает интеграцию теоретических знаний о динамических характеристиках электроэнергетических систем с практическими навыками, формируемыми с помощью инновационных методов обучения. Это включает в себя использование симуляторов, виртуальных лабораторий и интерактивных моделей для изучения поведения систем при различных условиях нагрузки, а также применение современных методик обучения и технологий

ISSN 3030-3907

критического мышления для развития навыков анализа и решения проблем [3,4,5].

Коротко рассмотрем современные педагогические технологии, применяемые в обучении:

1. Технологии развития критического мышления: Обучение студентов анализировать информацию, оценивать различные подходы к решению задач, выявлять проблемы и предлагать инновационные решения.

2. Игровые технологии: Включение элементов игры в учебный процесс для повышения мотивации и вовлеченности учащихся.

3. Технология проблемного обучения: Представление учебного материала в виде проблемных ситуаций, требующих от учащихся самостоятельного поиска решений.

4. Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ): Использование компьютерного моделирования, симуляторов электрических систем, интерактивных учебных платформ и виртуальных лабораторий для изучения динамических характеристик.

5. Технология “Spiral (regresses, progresses)”: Суть технологии заключается в том, что в дополнение к основным понятиям одной темы также предоставляется и получается информация по различным ее ответвлениям (составляется набор вопросов и путем обсуждения, дискутирования достигается правильное решение и вывод). Spiral(regressus, progressus) - интерактивная технология предполагает двухэтапный процесс занятий, в ходе начального этапа " regressus - осознанное отступление"- при этом информация по предмету повторяется, восстанавливается и закрепляется в памяти, верхняя ступень – заключительная " progressus – продвижение, шаг вперед" предполагается не только понять тему, зная ее, или сделать ее полноценным изложением, но и привнести в нее новаторские идеи, введя личные научные идеи в рамки информации, относящейся к теме. Кроме того, в ходе занятий, наряду с основными элементами темы, также обсуждаются их отдельные элементы. Например, рассматриваются плюсы и минусы, преимущества и недостатки.

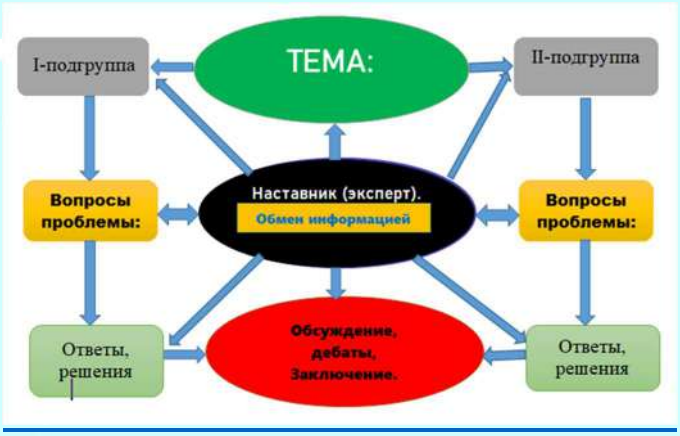
1. Materiallar va usullar

Рассмотрим применение Spiral (regressus, progressus), одной из интерактивных педагогических технологий, которая повышает мотивацию учащихся к обучению, облегчая понимание урока. Интерактивное обучение предполагает обязательную работу обучающихся в малых разделённых подгруппах на основе кооперации и сотрудничества. При этом основная роль преподавателя заключается в умении организовать продуктивную групповую и межличностную коммуникацию обучающихся. Интерактивное обучение

ISSN 3030-3907

опирается не только на процессы восприятия, памяти, внимания, а прежде всего на творческое продуктивное мышление и общение. Педагогическими средствами интерактивного обучения являются: - субъект-субъектное и групповое взаимодействие (субъектная позиция, сотрудничество, кооперация, конструктивная и доброжелательная атмосфера); - диалог-полилог (умение слушать, задавать вопросы и отвечать на вопросы, высказывать и отстаивать собственную точку зрения, вести полемику); - мыследеятельность и смыслотворчество (умение осуществлять мыслительные операции, четко выражать смысл своей позиции, понимание и объяснение смысла законов, явлений, теорий, фактов); - свобода выбора средств и способов усвоения учебного материала (проявление творчества, самостоятельности, выбор способов решения учебных задач, проявление индивидуального стиля учебной деятельности); - ситуация успеха (применение комплекса педагогических средств, способствующих успеху в учебной деятельности всех субъектов образовательного процесса); - рефлексия (самоанализ и объективная оценка и самооценка результатов личностного развития и учебной деятельности). Таким образом, суть технологии Spiral (regressus, progressus), в основе которой лежит идея интерактивного педагогического взаимодействия, и теория контекстно-ситуационного обучения составляют концептуальную базу инновационных образовательных технологий в вузе.

При применение интерактивной педагогической технологии Spiral (regressus, progressus), группу разделим на две подгруппы рис.-1.



1-рис. Структурный модель технологии обучения "Spiral (regress, progressus)".

Образовательная технология "Spiral (regressus, progressus)":

Тема задается наставником (экспертом);

Тема: Анализ модели динамической нагрузки электрических систем. Участники первой и второй подгруппы разрабатывают набор вопросов и проблем, связанных с данной темой:

ISSN 3030-3907

Таблица-1.

Алгоритм обучение технологии "Spiral (regressus, progressus)".

Подгруппа I: набор вопросов и проблем:	**Подгруппа II:** набор вопросов и проблем:
1. Какие компоненты имеют насосные агрегаты (НА) ? 2. Как влияет частота рабочего колеса на работу НА ? 3. Какими уравнениями описывается напорный характеристике насоса ? 4. Как определяется противо давления НА ? 5. Какими путями определяется статика гидравлических процессов ?	1. Пусковые характеристики асинхронного двигателя учитывается? 2. Какими уравнениями определяется движения ротора асинхронного двигателя? 3. Как учитывается момент сопротивления АД ? 4. Как учитывается НА в математическом моделеровании электрических сетях ? 5. Что такой частотный пуск АД ?

Результаты

Обсуждение, дебаты с участием наставника (эксперта).

-НА содержат следующие компоненты: насосы, электродвигатели, преобразователи частоты, информационно-измерительные и управляющие средства. Изменение частоты вращения рабочего колеса насоса ведет к изменению всех его рабочих параметров. Можно пересчитать характеристики насоса, используя формулы подобия в соответствии с текущей частотой вращения [6]

$$p_i = k_i\omega_i^2; \quad P_i = k_p\omega_i^3;$$
$$M_i = k_M\omega_i^2; \quad Q_i = k_Q\omega_i;$$

где $p_i, P_i, M_i, Q_i, \omega_i$– текущие значения давления, подачи, момента статического сопротивления и нагрузки, потребляемой мощности, а также частота вращения насоса. Для удобства исследований и расчетов в статье используется давление, связанное с напором формулой

$$p_i = H_i\rho g;$$

где p_i – давление, Па; H_i – напор, м; ρ – плотность жидкости, кг/м3; g = 9.8 м/с^2 – ускорение свободного падения.

Напорная характеристика насоса, работающего с переменной частотой вращения рабочего колеса, описывается уравнением квадратичной параболы

$$p_i = p_0\left(\frac{\omega_i^2}{\omega_{\text{ном}i}^2}\right) - R_{\text{нас}}Q_i^2; \qquad (1)$$

ISSN 3030-3907

где p_0 – давление насоса при нулевой подаче жидкости;

$R_{\text{нас}} = \frac{p_0 - p_{\text{ном}}}{Q^2_{\text{ном}}}$ гидравлическое сопротивление насоса, определяемое из номинальных данных и давления холостого хода, $P_{\text{ном}}$ и $Q_{\text{ном}}$ – номинальное давление и номинальная подача насоса; Q_i – текущая подача насоса. По давлению нулевой подачи p_0 при номинальной скорости $\omega_{\text{ном}}$ находится давление нулевой подачи для любой скорости вращения вала:

$$p_{0i} = \left(\frac{p_0\ \omega_i^2}{\omega^2_{\text{ном}_i}}\right); \qquad \text{или} \qquad p_{0i} = k_{p0}\omega_i^2 \qquad (2)$$

Характеристика сети (магистрали) при наличии противодавления определяется по формуле, $p_c = p_n + R_c Q_c^2$ где p_c– текущее давление в сети; $p_п$ – противодавление, обусловленное разностью геодезических отметок наивысшей точки подачи жидкости и места установки насоса;

$R_{\text{нас}} = \frac{p_{\text{ном}} - p_{\text{п}}}{Q^2_{\text{ном}}}$ – гидравлическое сопротивление сети;

Q_c – текущий расход жидкости в сети.

Далее наставник объясняет как определяют рабочих параметров НА, для определения рабочих параметров центробежных насосов, работающих с противодавлением, когда подача зависит не только от частоты вращения, но также от отношения p_n/p_0. Совместное решение уравнений насоса и сети относительно текущей подачи Q_i дает зависимость изменения подачи насоса от его угловой частоты вращения при наличии противодавления в следующем виде [2]:

$$Q_i = Q_0 \sqrt{\frac{(\frac{\omega_i}{\omega_{nom}})^2 - (p_n/p_0)}{1 - (p_n/p_0)}}. \qquad (3)$$

Приведенные формулы (2), (3) определяют статику гидравлических процессов. Наставник подробно останавливается формулам описывающий динамический процессы гидравлических частей насосов. При описании динамических процессов движения жидкости в гидравлической части насосного агрегата ее рассматривают как несжимаемое тело плотностью ρ, занимающее объем в некотором фиктивном трубопроводе с постоянным сечением S и длиной L. В этом случае увеличение или снижение подачи будет характеризоваться увеличением или уменьшением скорости движения жидкости под действием сил, определяемых действующими давлениями и гидравлическим сопротивлением гидравлической части насосного агрегата:

$$\frac{dQ_i}{dt} = \frac{s}{pL}\left[p_1 + p_0 - p_c - (R_\Sigma \quad Q_i^2)\right], \qquad (4)$$

где ρ_1– давление во всасывающем трубопроводе насоса; R_Σ – суммарное гидравлическое сопротивление насоса с частью напорного трубопровода.

ISSN 3030-3907

Гидравлическая (полезная) мощность насоса и мощность, потребляемая насосом, определяются выражениями

$$P_{\text{гид}} = p_i Q_i; \qquad P_{\text{пот}} = \frac{p_i Q_i}{\eta_i},$$

где η_i – КПД насоса. Изменение КПД в зависимости от угловой скорости насоса определяется с помощью формулы Муди, преобразованной для насосов:

$$\eta_i = 1 - \frac{1-\eta_{nom}}{\left(\frac{\omega}{\omega_{nom}}\right)^{0.36}}, \text{ или } \quad \eta_i = k_\eta \omega_i^{0.36} \qquad (5)$$

где $\eta_{ном}$ – номинальный КПД насоса. Момент сопротивления насоса определяется выражением

$$M_{н.с} = \frac{P_{пот}}{\omega_ш} = \frac{p_i Q_i}{\omega_i \eta_i} \qquad (6)$$

Ещё важно обратить внимание учащихся на модели электропривода с асинхронным (синхронным) двигателем АД (СД) при частотном управлении. Система «преобразователь частоты – асинхронный (синхронный) двигатель» с векторным управлением. Без учета магнитного насыщения динамическая модель электропривода с векторным управлением формируется при рассмотрении переменных в системе координат d–q и ориентации оси d по вектору потокосцепления ротора.

Мощность асинхронного двигателя определяется с учетом изменения скольжения в диапазоне от его номинального значения до полного останова, при этом активное и реактивное сопротивления схемы замещения АД переменны, т.е. учитываются пусковые характеристики асинхронного двигателя.

Расчетные формулы:

$$P_{ас} = P_{ас.ном} \cdot \frac{U^2}{U_{ном}^2 \cdot cos\varphi_{ном}} \cdot f(S_{дв}) \qquad (7)$$

$$Q_{ас} = P_{ас} \cdot \frac{S_{дв}}{S_{кр}} + \frac{U^2}{U_{ном}^2 \cdot x_\mu} \cdot \frac{P_{ас.ном}}{cosf_{ном}} \qquad (8)$$

где $f(S_{дв}) = \frac{r \cdot S_{дв}}{(x^2 \cdot S_{дв}^2 + r^2) \cdot (1+f_u)^2}$ $S_{кр} = \frac{r}{x}$, $r = f_1(S_{дв})$, $x = f_2(S_{дв})$

Далее наставник объясняет движение ротора и момент сопротивления АД, они описываются следующими уравнениями:

$$\frac{dS_p}{dt} = \frac{1}{T_{дв}} \left(\frac{P_{эм}}{1+f_u} - P_T \right) \qquad (9)$$

Момент сопротивления АД

$$P_T = K_З \cdot cos\varphi_{ном} \cdot \delta_0 \left[(1-a-b) + a(1+S_p) + b(1+S_p)^2 \right] \qquad (10)$$

где $\delta_0 = \frac{1}{(1-a-b)+a(1-S_{дв(0)})+b(1-S_{дв(0)})^2}$

$$S_{дв} = f_u - S_p$$

ISSN 3030-3907

$$P_{эм} = f(S_{дв}) \cdot \frac{U^2}{U_{ном}^2} \qquad (11)$$

$f(S_{дв})$ – переменная зависящая от параметров x, r и от $S_{дв}$.

$$r = \begin{cases} r_0, & \text{если } S_{дв} \le S_r \\ \dfrac{r_0(1 - S_{дв}) + K_r \cdot r_0(S_{дв} - S_r)}{1 - S_r}, & \text{если } S_{дв} > S_r \end{cases}$$

$$x = \begin{cases} x_{ko} & \text{если } S_{дв} \le S_r \\ \dfrac{x_{ko} \cdot (1 - S_r - S_{дв}) + x_{k1}(S_{дв} - S_r)}{1 - 2S_r}, & \text{если } S_r < S_{дв} < (1 - S_r) \\ x_{k1}, & \text{если } S_{дв} \ge (1 - S_r) \end{cases}$$

В принятом работы удобнее оперировать проводимостями, поэтому уравнения претерпевают преобразование. В общем случае комплексный нагрузки в узлах сети подразделяются в виде статической и динамической нагрузки;

$$У_{Н} = У_{ст} + У_{ас} \qquad (12)$$

$$У_{ст} = У'_{ст.ном} \cdot F'(U, f_u) + jУ''_{ст.ном} \cdot F''(U, f_u) \qquad (13)$$

где $F' = (U, f_u) = \left(\frac{U_\delta}{U}\right)^2 \left[A_0 + A_1 \frac{U}{U_\delta} + A_2 \left(\frac{U}{U_\delta}\right)^2 + A_f \cdot f_u\right]$

$$F'' = (U, f_u) = \left(\frac{U_\delta}{U}\right)^2 \left[B_0 + B_1 \frac{U}{U_\delta} + B_2 \left(\frac{U}{U_\delta}\right)^2 + B_f \cdot f_u\right]$$

при $U = U_{ном}$, $У'_{ст} = У'_{ст.ном}$

под $U_{ном}$ подразумевается $U_{ном}$ ступени

$$У'_{Н} = У'_{ном}(1 - К_{ас}) \cdot F''(U, f_u) - У'_{ном} \cdot F''(S_{дв})$$

где $К_{ас}$ – доля асинхронной нагрузки в узле, задается в исходной информации.

$У'_{ном}$ - определяется в начальных значениях.

$$У'_{ном} = \frac{У'_{но}}{(1 - К_{ас}) \cdot F'(U_0) + F'(S_{дв.0})}$$

$$У'_{но} = \frac{Р_{но}}{U_0^2}$$

$S_{дв.0}$ определяется на основании равенства $Р_{то}$ и $Р_{эмо}$.

ISSN 3030-3907

$$К_З \cdot cos\varphi_{ном} = f(S_{дв.0}) \frac{U_0^2}{U_{ном}^2}$$

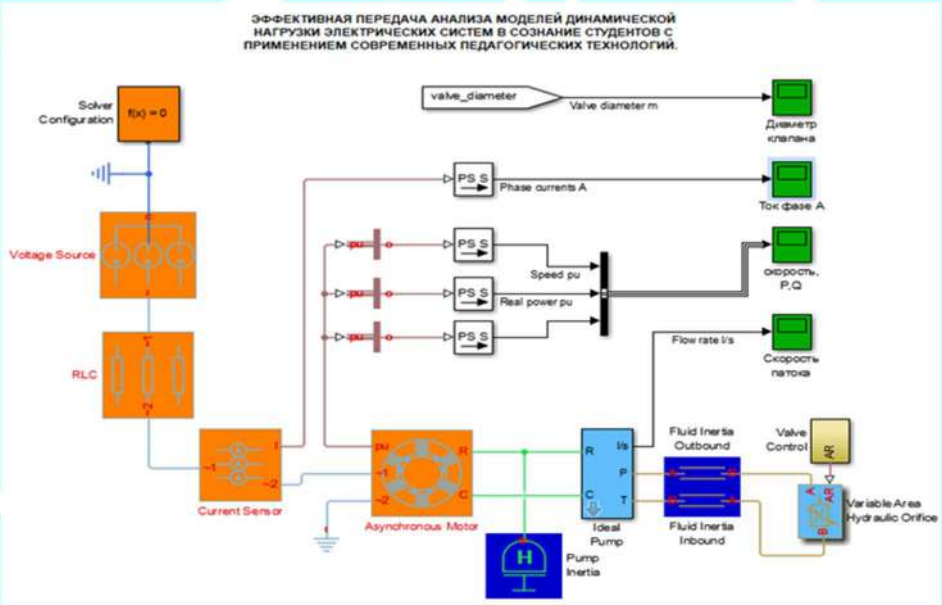
$$F'(S_{дв}) = \frac{К_{ас}}{cos\varphi_{ном}} \cdot f(S_{дв})$$

$$F''(S_{дв}) = \frac{К_{ас}}{cos\varphi_{ном}} \left[f(S_{дв}) \cdot \frac{S_{дв}}{S_{кр}} + \frac{1}{x_\mu} \right]$$

$$У''_{ном} = \frac{У''_{но} + У'_{ном} \cdot K_{Qo}}{F''(U_c)} - У'_{ном} K_{Qном}$$

$$К_{Qном} = F''(S_{дв.ном}); \quad K_{Qo} = F''(S_{дв.о})$$

2. Обсуждение (Discussion)



2-Рис. Экспериментальная схема для анализа работы насосного агрегата.

Таким образом, комплексная нагрузочная проводимость в состав которого включены параметры НА в узле на расчетном интервале определяется по формулам:

$$У'_Н = У'_{ном} \left[F'(U, f_u) \cdot (1 - K_{ac}) + \frac{K_{ac}}{cos\varphi_{ном}} \cdot f(S_{дв}) \right] \qquad (14)$$

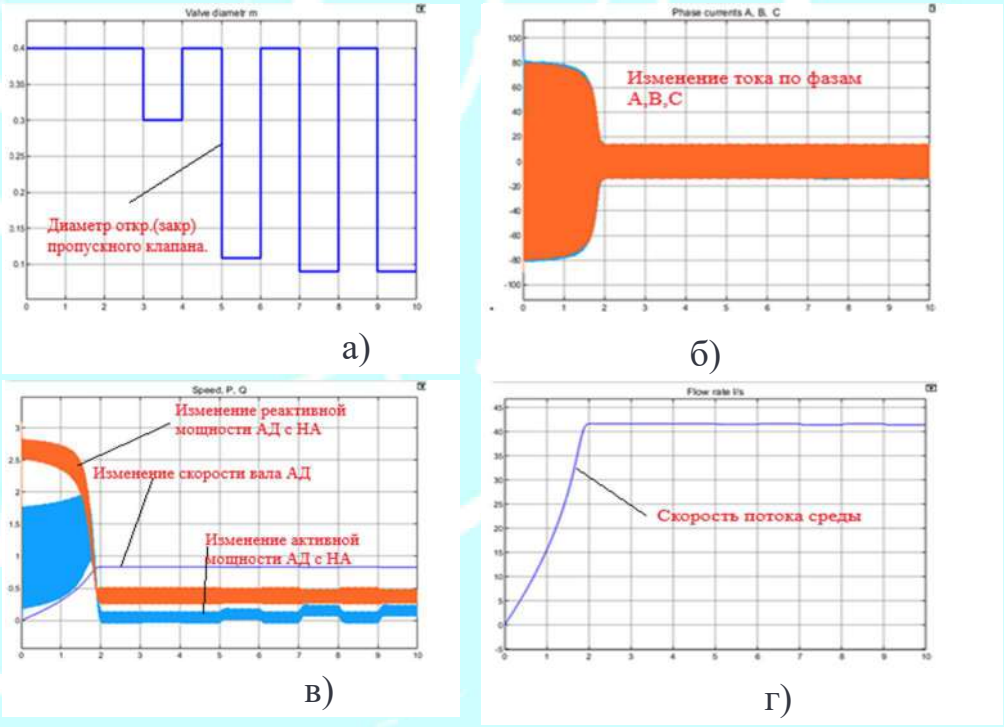
$$У''_Н = \left(У'_{ном} \cdot К_{Qном} + У''_{ном} \right) \cdot F''(U, f_u) -$$
$$- У'_{ном} \cdot \frac{K_{ac}}{cos\varphi_{ном}} \left[f(S_{дв}) \cdot \frac{S_{дв} \cdot x(1+f_u)}{r} + \frac{1}{x_\mu (1+f_u)} \right] \qquad (15)$$

Как показывают опыт, учет таких основных факторов, как механическая инерция АД (СД), зависимость электромагнитной мощности от напряжения и скольжения дает хорошие результате при исследовании насосных агрегатов совместно работающие с АД (СД) [7].

ISSN 3030-3907

Для оценки работы НА приведем пример, в состав НА входит: насос КМ45/30, асинхронный двигатель АИР112М2.

Исходные данные: $N_н$ =5,5 кВт − мощность насоса, $P_{2н}$ =7,5 кВт − мощность двигателя, $H_н$=31 м − напор насоса, $Q_н$ =45 м3/ч − расход насоса, ηнасн =0,7 − КПД насоса, ηдвн =0,87 − КПД двигателя; $H_п$ =15,6 м − статическая составляющая напора (разница геодезических отметок насосной установки и потребителя плюс свободный напор у потребителя); Нф =39,2 м − фиктивный напор насоса при нулевой подаче; g=9,81 м/с2 = 2,725.10−3м/ч2, ρ=1000 кг/м3 − плотность жидкости. По каталогу находим рабочие характеристики насоса, зависимости $η_{нас}$ =f(Q), H=f(Q) [3].



3-Рис. Результаты анализов работы асинхронного двигателя с насосным агрегатом.

Для вычисления характеристик НА в диалоговом окне «Block Parameters: Centrifugal Pump» существует возможность выбрать один из трех методов: «By approximating polynomial» - по аппроксимационному полиному, «By two 1D characteristics: P-Q and N-Q» - по двум одномерным массивам: PQ и NQ. «By two 2D characteristics: P-Q-W and N-Q-W» - по двум двумерным массивам: PQW и NQW. В нашем случае воспользуемся методом «By two 1D characteristics: P-Q and N-Q».

3. Заключение (Conclusion)

Выходные характеристики представлены на рис. 3 а, б, в, г. Анализ результатов позволяет сделать следующий вывод: моделирование в графической системе Simulink программы MATLAB, при использовании математической модели, позволяет получить характеристики, которые подтверждают работоспособность системы двигатель-насос. Результаты

ISSN 3030-3907

моделирования могут быть использованы при проектировании и исследовании электроприводов с нагрузкой в виде НА, а также при построении систем управления центробежными насосами УЦН [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Монахов В.М., От традиционной методики к новой технологии обучения. М. Тула: Будрус, 2012.
2. Новые педагогические и информационные технологии в системе образования. Под ред. Е.С. Полат. – М., 2014.
3. “ElektroMaster.org” (http://elektromaster.org/osnovnyie-zakonyi-elektrotehniki.html).
4. “Информационный ресурс” (http://infoelectrik.ru/nemnogo-osnov-lektrotehniki/zakon_dzhoulya-lenca.html).
5. “Информационный ресурс” (http://infoelectrik.ru/nemnogo-osnov-elektrotehniki/ osnovnye-zakony kirhgofa.html).
6. Goppelt F., Hieninger T., Schmidt-Vollus R. Modeling centrifugal pump systems from a system-theoretical point of view // 18th International Conference on Mechatronics - Mechatronika (ME). 2018. P. 1-8.
7. Лысенко О.А. Программный модуль «Моделирование насосной установки с центробежным насосом и асинхронным двигателем» / О.А. Лысенко, А.А. Охотников // Свидетельство о регистрации электронного ресурса. - 2014.
8. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. - СПб.: КОРОНА-Век, 2008. - 368 с.

ISSN 3030-3907