

## СОВМЕСТНАЯ РАБОТА ГРУППЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ НА ПОДСТАНЦИИ

Бэтрэу С.А., Ключников А.Т., Шулаков Н.В.

*ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, e-mail: bejetreu@eservice.perm.ru*

Аварийные и внезапные перерывы электроснабжения потребителей, возникающие в результате поломки оборудования, влекут за собой простой основного технологического оборудования, высокие затраты на ремонт, вследствие чего снижается количество и качество выпускаемой продукции. В настоящее время для анализа переходных процессов используют микропроцессорную технику. Проектирование и эксплуатация систем электроснабжения достаточно сложный и трудоёмкий процесс. Так для исследования систем электроснабжения необходимо учесть, как нынешние достижения в электронно-вычислительной технике, так и специфику функционирования систем силового типа. В статье рассмотрены - условия совместной работы понижающего силового трансформатора на подстанции и группы электроприводов, смоделированных в программе MatLab/Simulink. Произведен анализ режимов работы подстанции и выбран оптимальный режим пуска электрооборудование на подстанции.

Ключевые слова: моделирование, подстанция, аварийный режим, электроэнергетическая система.

## JOINT WORK OF ELECTRIC DRIVES GROUP ON SUBSTATION

Beetreu S.A., Klyuchnikov A.T., Shulakov N.V.

*State National Research Polytechnical University of Perm, Perm, e-mail: bejetreu@eservice.perm.ru*

Emergency and sudden interruptions of consumers power supply, resulting from equipment failure, lead to downtime of basic process equipment, high repair costs, thereby reducing the quantity and quality of products. Currently, microprocessor technology is used for the transient analysis. Design and operation of power systems is rather complicated and time-consuming process. For the sake of electrical systems research it's necessary to consider current advances in computing technology and the operation specifics of the power type systems. This article is devoted to the joint work conditions of the step-down power transformer on the substation and the group of the electric drives, simulated in "MatLab/Simulink". The analysis of substation work modes was made and the optimum condition of electrical equipment launch on the substation was chosen.

Keywords: simulation, substation, emergency state, electrical power system.

В данной статье рассмотрены режимы работы подстанции 110/35/6кВ. Производится компьютерное моделирование рассмотренных режимов. Результаты моделирования могут использоваться при решении широкого спектра практических задач исследования и изучения вопросов совершенствования режимов электропотребления. Номинальный режим работы подразумевает питание от 2-х силовых трансформаторов марки ТДТН-6300/110 при разомкнутом секционном выключателе. Аварийный режим предполагает питание от одного силового трансформатора. Вторая секция шин запитана через секционный выключатель. На рис.1 представлена упрощенная эквивалентная схема питания подстанции 110/35/6кВ смоделированной в программной среде MatLab/Simulink. Упрощенная эквивалентная схема состоит из одного трехобмоточного понижающего трансформатора мощностью 6,3МВА и напряжениями  $U_{в}=110\text{кВ}$ ,  $U_{ср}=35\text{кВ}$ ,  $U_{н}=6\text{кВ}$ . На средней стороне  $U_{ср}=35\text{кВ}$  подключена RL-нагрузка, которая эквивалента мощности 1,6МВА. На низкой стороне  $U_{н}=6\text{кВ}$  подключены: синхронный двигатель (СД) мощностью 1600кВт и напряжением  $U=6\text{кВ}$ ; два

эквивалентных асинхронных двигателя (АД) мощностями 600 и 260кВт соответственно и напряжением на статоре  $U_{ст}=380В$ , запитанных через понижающие трансформаторы 6/0,4кВ мощностью 720кВА каждый; трансформатор собственных нужд (ТСН) мощностью 720кВА с нагрузкой 630кВт; батарея статических конденсаторов (БСК) мощностью 900кВАр.

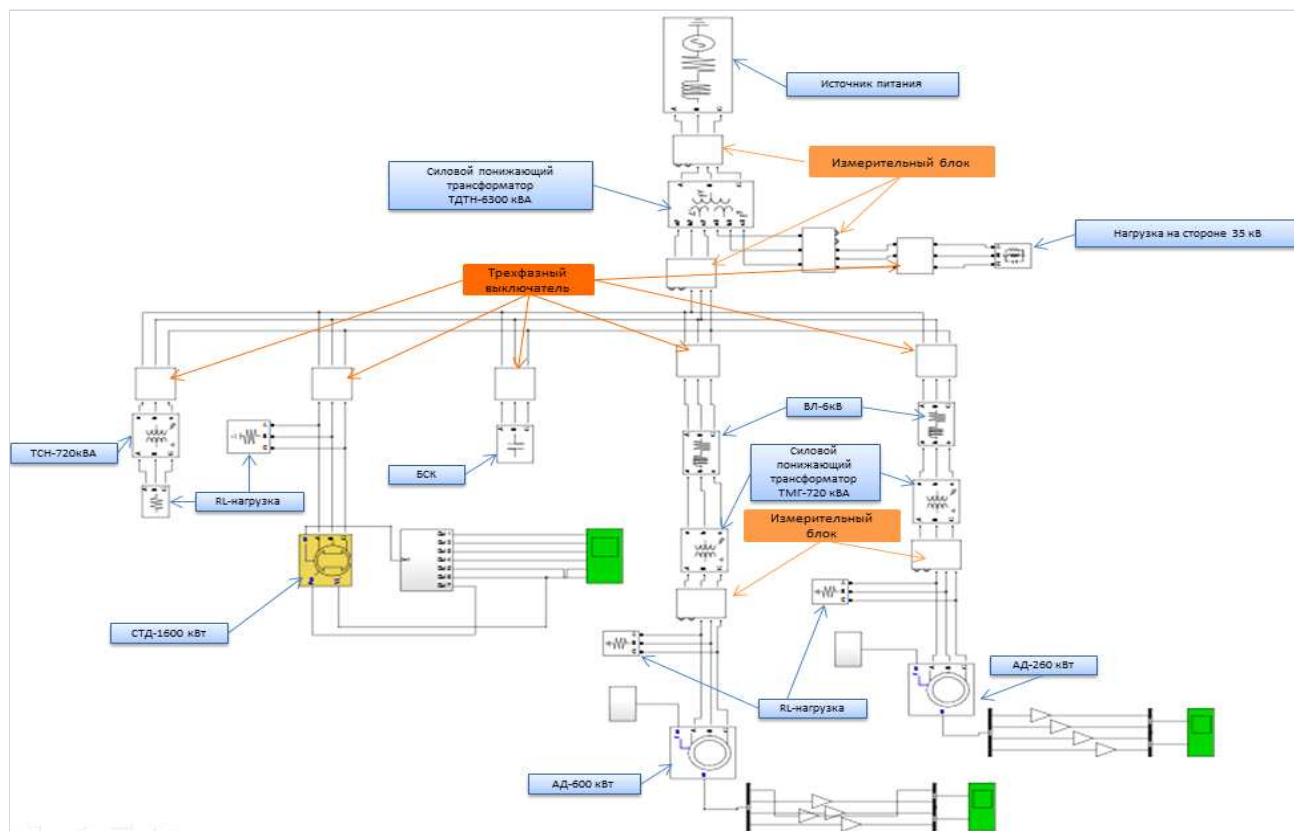


Рис. 1. Упрощенная эквивалентная схема питания подстанции 110/35/6 кВ смоделированной в программной среде MatLab/Simulink

Воздушная линия ВЛ-6 кВ задается в программе Simulink с помощью блока последовательной RL-нагрузки. В процессе моделирования, управление времени включения нагрузки осуществляется с помощью трехфазных выключателей переменного тока.

### Основные режимы работы

Реально в процессе эксплуатации возможно четыре основных режима:

*Первый режим.* Рассматривается режим включения всей нагрузки при мощности источника питания 26МВА. Номинальная нагрузка составила  $S_p=3,81МВА$ . Включение нагрузки происходит одновременно при  $t=1.0с$ .

Напряжения на шинах трехобмоточного понижающего силового трансформатора ТДТН-6300/110, составляет  $U_{в}=103,5кВ$ , падение напряжения составляет  $\Delta U_{в}=2,8\%$ ; на средней стороне напряжение составляет  $U_{с}=32,5кВ$ , падение напряжения составило  $\Delta U_{с}=3\%$ ; напряжение на низкой стороне составляет  $U_{н}=5,5кВ$ , падение напряжения составило  $\Delta U_{н}=2,4\%$ . При этом потребляемый ток на стороне 110кВ равен 19А, что соответствует загрузке трансформатора на 60,6%. Мощность, потребляемая по средней

стороне 1,6МВА., при этом потребляемый ток на стороне 35кВ равен 24,5А, при этом нагрузка трансформатора составила 25%. Мощность, потребляемая на стороне 6кВ составила 2,2МВА, при этом потребляемый ток на низкой стороне равен 210А, нагрузка трансформатора составила 36%.

На рис.2 показаны токи и напряжения, потребляемого эквивалентного асинхронного двигателя мощностью 600кВт, запитанного от понижающего трансформатора ТМГ-720кВА через ВЛ 6кВ длиной 10 км. Из графика видно АД, имеет время пуска  $t=2.5с$ , а кратность пускового тока составило 5,6 раза.

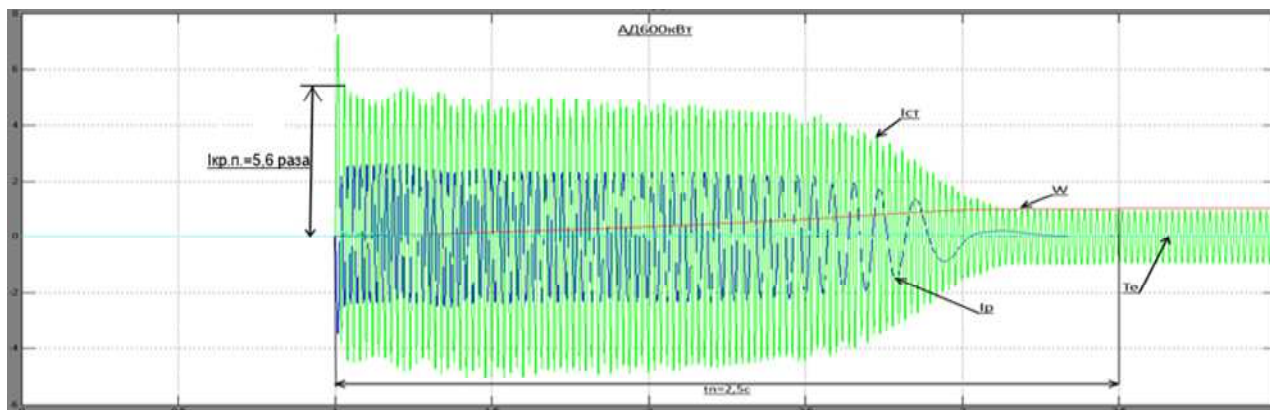


Рис. 2. Ток статора и ротора, скорость вращения ротора и электромагнитный момент для АД мощностью 600кВт. (I режим)

*Второй режим.* Рассматривается режим включения всей нагрузки при мощности к.з. источника питания 12МВА. При времени  $t=1.5с$ . происходит включение всей нагрузки.

Напряжения на шинах силового трансформатора ТДТН-6300/110 на высокой стороне составляет  $Uв=70кВ$ , падение напряжения составило  $\Delta Uв=40\%$ ; на средней стороне напряжение составляет  $Uс=21кВ$ , падение напряжения составило  $\Delta Uс=44,5\%$ ; напряжение на низкой стороне составляет  $Uн=3,4кВ$ , падение напряжения составило  $\Delta Uн=46,6\%$ . При мощности источника напряжения 12МВА. при этом потребляемый ток на стороне 110кВ равен 28А. На стороне 35кВ ток составил 15,9А., На стороне 6кВ ток составил 440А.

На рис.3 представлены ток статора и ротора скорость вращения ротора и электромагнитный момент для двигателя 600кВт. Из графика видно, что процесс на четвертой секунде не установился, а напряжение резко возрастает. Кратность пускового тока составила примерно 4,5 раза.

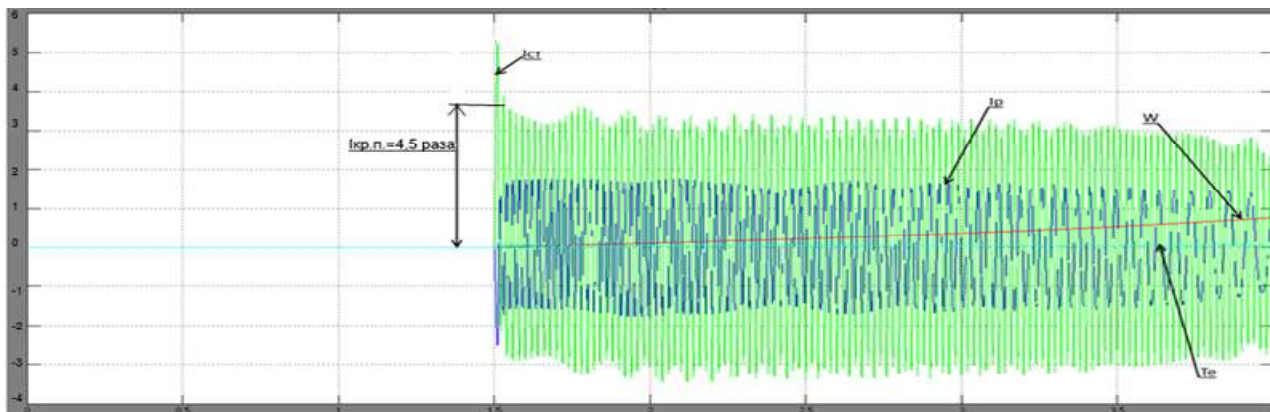


Рис. 3. Ток статора и ротора, скорость вращения ротора и электромагнитный момент для двигателя 600кВт, при мощности К.З. источника напряжения 12МВА. (II режим)

*Третий режим.* Рассматривается режим включения всей нагрузки при мощности к.з. источника питания 12МВА. Включение нагрузки осуществляется ступенчато. Порядок включения:

1. Синхронный двигатель (СД-1600) при  $t=0.1$  с;
2. Асинхронный двигатель (АД-600) при  $t=1.0$  с;
3. Батарея статических конденсаторов (БСК-900 кВАр) при  $t=1.1$  с;
4. Асинхронный двигатель (АД-260) при  $t=2.0$  с;
5. Нагрузка на стороне 35 кВ при  $t=2.5$  с;
6. Трансформатор собственных нужд (ТСН-720) при  $t=3$  с.

Напряжение на высокой стороне составляет  $U_v=106$ кВ, падение напряжения составило  $U_v=3,6\%$ ; на средней стороне напряжение составляет  $U_c=34$ кВ, падение напряжения составило  $U_c=2,8\%$ ; напряжение на низкой стороне составляет  $U_n=5,9$ кВ, падения напряжения составило  $U_n=1,6\%$ .

Токи на шинах трансформатора ТДТН-6300/110, мощность источника питания составляет  $S_{ист}=12$ МВА. Сравнивая со вторым режимом, видно, что броски тока уменьшились на стороне 110кВ с 28А до 19А, на стороне 35кВ осталось неизменной, а на стороне 6кВ с 440А до 208А.

На рис.4 представлены токи статора и ротора скорость вращения ротора и электромагнитный момент для двигателя номинальной мощностью 600кВт, при мощности источника напряжения 12МВА. Включение нагрузки происходит ступенчато. Сравнивая с рис.3. можно сделать выводы, что процесс установился, при этом время разгона составило  $t=2,55$ с, а кратность пускового тока составила примерно 4,2 раз.

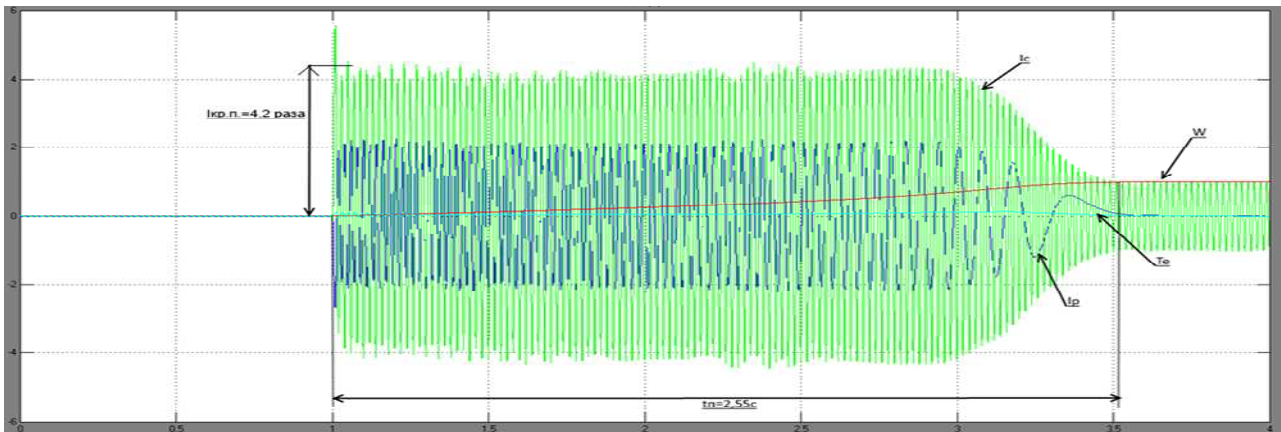


Рис. 4. Ток статора и ротора, скорость вращения ротора и электромагнитный момент для двигателя 600 кВт, при мощности К.З. источника напряжения 12МВА и ступенчатом пуске. (III режим)

*Четвертый режим.* Рассматривается режим включения всей нагрузки при мощности источника питания 12МВА. Полная нагрузка составила  $S_p=3,81\text{МВА}$ . Включение нагрузки осуществляется ступенчато. Порядок включения:

1. Асинхронный двигатель (АД-600) при  $t=0.1\text{ с}$ ;
2. Батарея статических конденсаторов (БСК-900 кВАр) при  $t=0.3\text{ с}$ ;
3. Синхронный двигатель (СД-1600) при  $t=0.5\text{ с}$ ;
4. Асинхронный двигатель (АД-260) при  $t=0.6\text{ с}$ ;
5. Нагрузка на стороне 35 кВ при  $t=2.5\text{ с}$ ;
6. Трансформатор собственных нужд (ТСН-720) при  $t=3\text{ с}$ .

Напряжение на высокой стороне составляет  $U_v=101\text{кВ}$ , падение напряжения составило  $U_v\%=8$ ; на средней стороне напряжение составляет  $U_c=32\text{кВ}$ , падение напряжения составило  $U_c\%=8,5$ ; напряжение на низкой стороне составляет  $U_n=5,5\text{кВ}$ , падение напряжения составило  $U_n\%=8,3$ .

Токи на шинах трансформатора ТДТН-6300, мощность источника питания составляет  $S_{\text{ист}}=12\text{МВА}$ . Сравнивая с третьим режимом, можно сделать выводы, что броски тока не изменились и составляют 33А, на стороне 35кВ осталось неизменной, а на стороне 6кВ возросло с 590А до 595А.

На рис.5 представлены токи статора и ротора скорость вращения ротора и электромагнитный момент для двигателя номинальной мощностью 600кВт, при мощности источника напряжения 12МВА. Сравнивая рис.4. можно сделать выводы, что процесс установился, при этом время разгона составило  $t=2,6\text{с}$ , а кратность пускового тока составила более 8 раз.



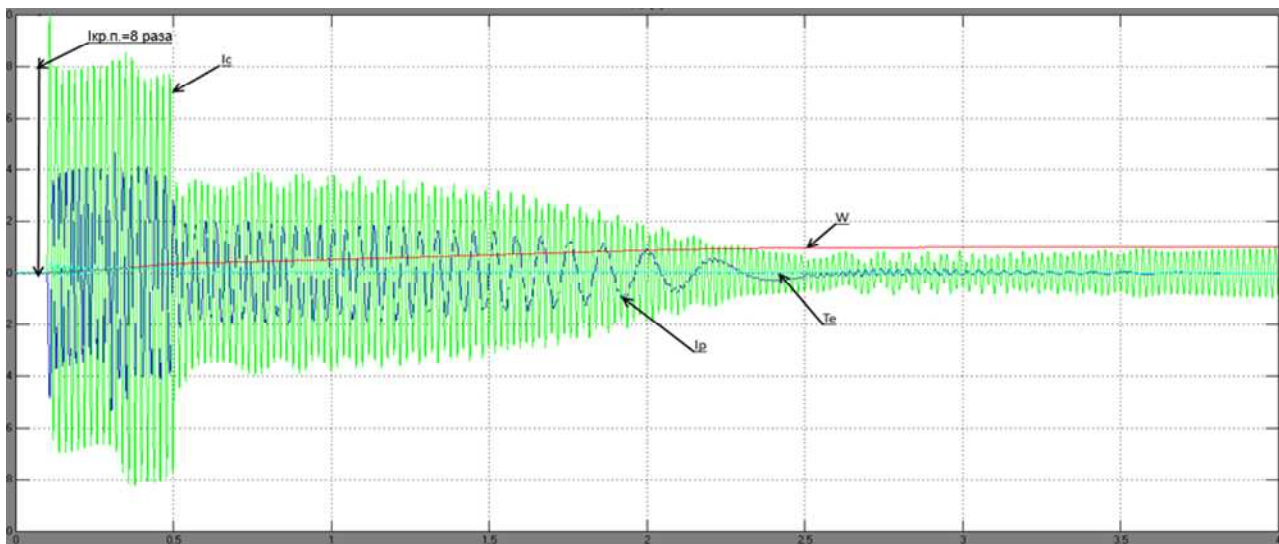


Рис. 5. Ток статора и ротора, скорость вращения ротора и электромагнитный момент для двигателя 600кВт, при мощности К.З. источника напряжения 12МВА и ступенчатом пуске (IV режим)

### Заключение

Рассмотрев режимы эксплуатации подстанции, можно сделать следующие выводы:

- работа понижающего трансформатора без нагрузки происходит без падения напряжения и отсутствия бросков тока.

- если источник питания обладает запроектированной мощностью равной 12 МВА, то одновременный запуск неприемлем, т. к. при этом режиме происходит большое падение напряжения, выходящее за пределы нормы. При этом электродвигатели (СД и АД) не могут выйти на номинальный режим работы. В итоге чего происходит затянутый пуск, большие падения напряжения, что в принципе негативно сказывается на электропотребителях.

Решение данной проблемы – ступенчатый пуск нагрузок. Режимы III и IV исследуют ступенчатый пуск с заданной очередностью по времени и очередности включения нагрузки. Наиболее оптимальный режим при ступенчатом пуске является III. В сравнении с IV режимом, можно сделать выводы, что падение напряжения составило 3,6%, что входит в пределах нормы, кратность пусковых уменьшилась с 10 до 5,5 раз, а время пуска АД осталось таким же. Это связано с порядком включения нагрузки. Изначально запускается СД мощностью 1600кВт, что позволяет двигателю работать с перевозбуждением, генерируя реактивную мощность в сеть. Далее запускается АД мощностью 600кВт, после чего включаем БСК и оставшуюся нагрузку. Регулируя порядок включения нагрузки, можно выполнить требования питающей энергосистемы относительно компенсации реактивной мощности и падения напряжения.

Представленные в статье результаты моделирования являются основой для проведения дальнейших научных исследований в рассматриваемой предметной области.

## Список литературы

1. Вольдек А. И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений. Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л.: «Энергия», 1974. – 840 с. с ил.
2. Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 928 с., ил.
3. Кравчик А. Э., Шлаф М. М., Афонин В. И., Соболенская Е. А. Справочник «Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник». – Энергоиздат, 1982. – 504 с.
4. Правила устройства электроустановок [Текст]: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2008. – 853 с., ил.
5. Справочник по проектированию электроэнергетических систем./Под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. – М.: Энергоатомиздат, 1985.–352 с.
6. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий.– М.: Энергоатомиздат, 1984. – 472с.

### Рецензенты:

Кавалеров Б.В., д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Электротехника и электромеханика», ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь;

Цаплин А.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Общая физика», ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь.