Интернет-журнал «Науковедение» ISSN 2223-5167 http://naukovedenie.ru/

Том 8, №6 (2016) http://naukovedenie.ru/vol8-6.php

URL статьи: http://naukovedenie.ru/PDF/90TVN616.pdf

Статья опубликована 24.01.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:
Гаврюшин С.С., Арбузов Е.В., Картовенко А.В. Моделирование работы монтажного комплекса строительства воздушных линий электропередач // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №6 (2016) http://naukovedenie.ru/PDF/90TVN616.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 621.91:681.5

Гаврюшин Сергей Сергеевич
ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», Россия, Москва
Профессор кафедры «РК-9»
Доктор технических наук
E-mail: challacha@mail.ru

Арбузов Евгений Васильевич
ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», Россия, Москва
Доцент кафедры «РК-9»
Кандидат технических наук
E-mail: eva_412@mail.ru

Картовенко Алла Валерьевна
ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», Россия, Москва
Аспирант
E-mail: challacha@mail.ru

Моделирование работы монтажного комплекса строительства воздушных линий электропередач

Аннотация. В статье рассматривается результаты исследования монтажного комплекса для строительства линий электропередач. В работе исследованы оборудование и лидер-трос в процессе тяжения. Работа машин при строительстве линий электропередач можно представить в виде трех этапов: разгон, стационарный режим и выбег. Скорость работы комплекса ограничивается техническими условиями на провод (усилие тяжения) и природными ограничениями, таким образом, чтобы усилие не было выше на 3-5% от проектируемых значений. Проектировщики линий электропередач задают границы усилия тяжения, оборудование его реализует. Поскольку актуальность задачи связана с появлением новых видов проводов, встал вопрос об автоматизации гидравлического оборудования, при этом используется новый вид монтажа - «под тяжением». В процессе исследования монтажного комплекса разработана динамическая модель, проведены машинный и натурный эксперименты. Натурный эксперимент был проведен с использованием регистратора, установленного на машине, результаты после сравнения показали высокую степень сходимости. Расхождения связаны с особенностями работы гидравлических машин. В целом модель показала хорошие результаты. На основании этого исследования можно утверждать о том, что автоматизация монтажных комплексов имеет место быть и может быть использована для создания новых автоматизированных комплексов для строительства линий электропередач.

Ключевые слова: гидравлическое оборудование; прокладка проводов воздушных линий; автоматизация технологических процессов; монтажный комплекс; провод; линии электропередач; моделирование гидравлических систем

Актуальность исследования обусловлена появлением оптоволоконных, композитных, нанопроводов и других новых конструкций информационных кабелей и проводов, что потребовало создания новых автоматизированных технологий и оборудования для их монтажа. Монтаж таких кабелей требует автоматизации и управления работы комплексов монтажа линий электропередач воздушных линий.

Объектом исследования является гидравлический монтажный комплекс для монтажа воздушных линий электропередач, включающий натяжную и тормозную гидравлические машины, гидравлический тормозной кабельный домкрат, цепочку гибких связей (лидер-троса и монтируемого кабеля или провода), размещенных на опорах строительной длины.

Для применяемых проводов и кабелей существуют ограничения по усилию тяжения. Это сделано для того, чтобы можно было соблюдать технические параметры тяжения, закрепленные в техническом паспорте на каждый вид провода или кабеля.

Модель комплекса включает цепную структуру, включающую упругие инерционные элементы, параметры которых непрерывно меняются в ходе монтажа и нелинейно зависят от усилия тяжения и длины протяжки провода.

Для каждого строящегося объекта в результате компьютерного моделирования задаются требования по усилиям тяжения и стрелам провеса для всех пролетов строительной длины (рис. 1 и 2) для каждого из двух-трех десятков пролетов при общей строительной длине 3-8 км.

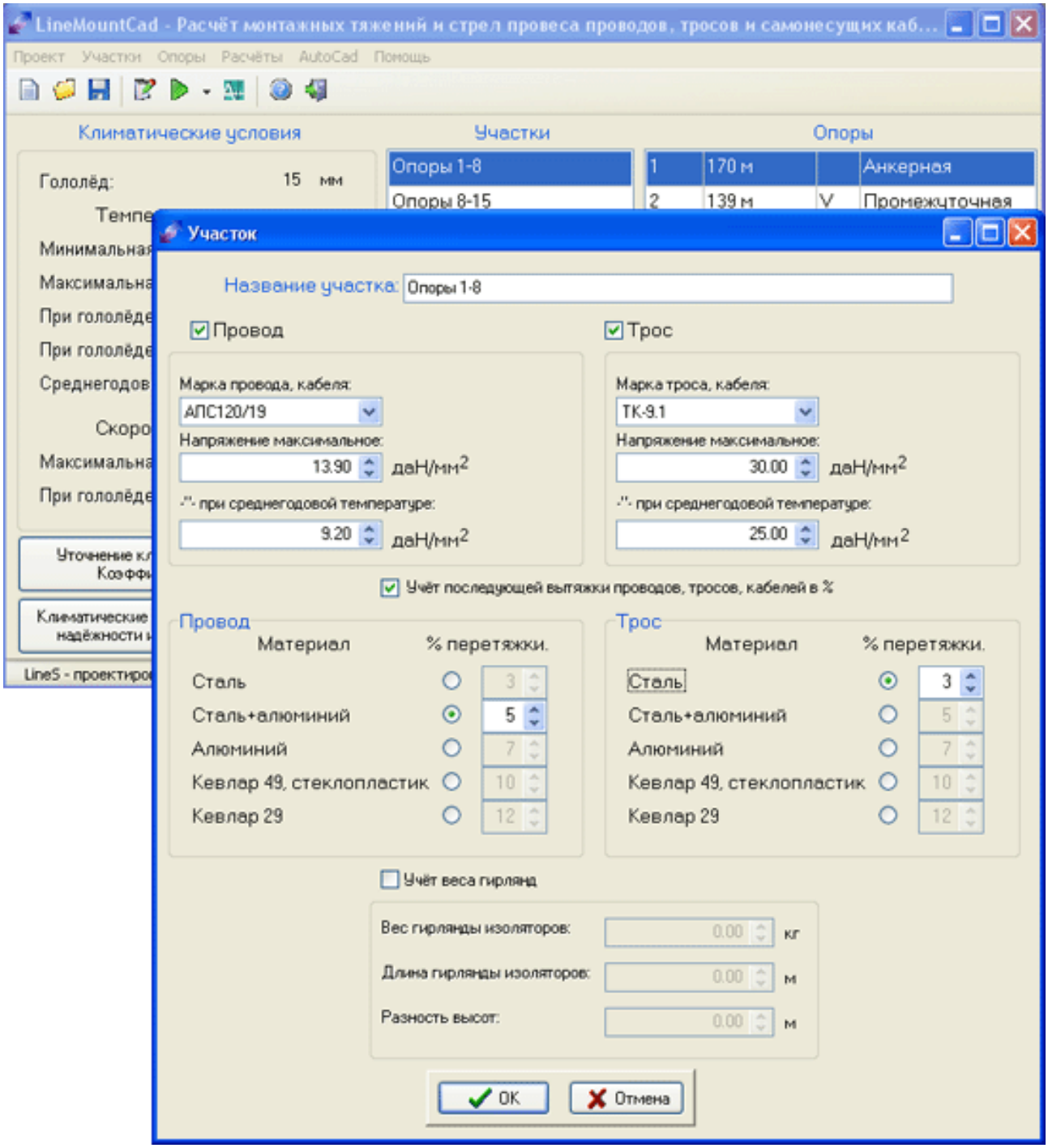


Рисунок 1. *Пример расчёта тяжений (исходные данные [3])*

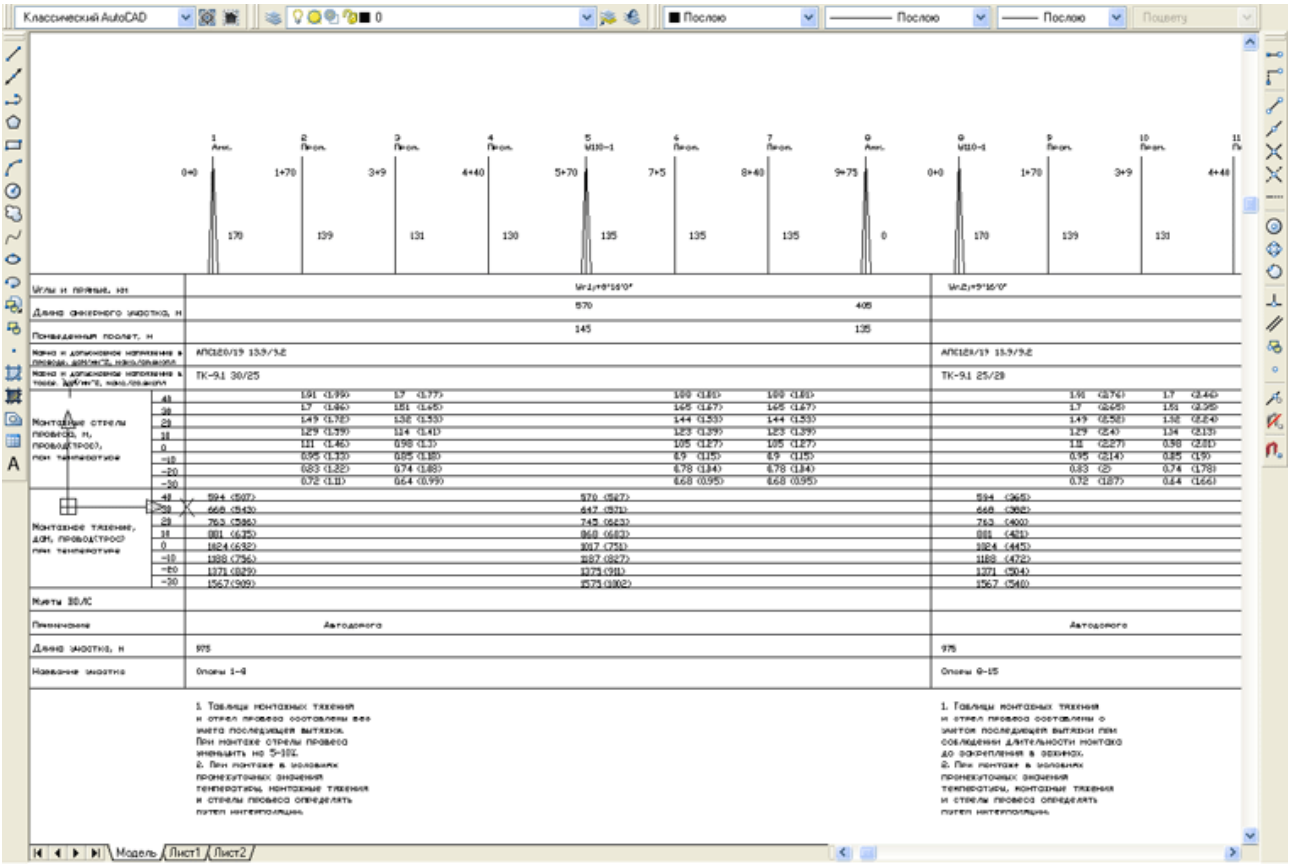


Рисунок 2. *Результаты расчёта расстановки опор, тяжений и стрел провеса ВЛ [4]*

В работе гидравлического монтажного комплекса (рис. 3) можно выделить 3 характерных периода: разгон, проведение протяжки при номинальной скорости и торможение. Разгон из состояния покоя проводится до номинальной рабочей скорости, например, 1,1÷1,4 м/с (4÷5 км/ч) или другой, заданной проектным заданием скорости.

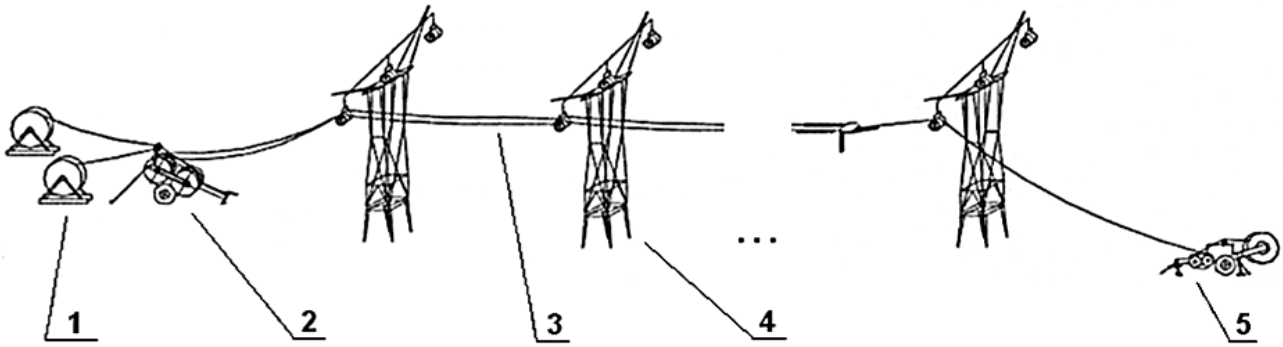


Рисунок 3. *Монтажный комплекс: 1 - тормозной кабельный домкрат; 2 - гидравлическая тормозная машина; 3 - пролет воздушной линии электропередач с проводом; 4 - опора; 5 - натяжная гидравлическая машина [13]*

До начала работ натяжная и тормозная машины комплекса программируются под конкретный провод, т.е. задается усилие тяжения, скорости и длины протяжек и момент начала торможения.

Для выбора расчетных моделей комплекса было определено и оценено влияние на управление объектом таких параметров как: массы, моменты инерции подвижных элементов комплекса, упругость, коэффициенты жесткости упругих элементов цепных линий в виде проводов, сил тяжения, трения, времени разгона и торможения.

Принимая в начальный момент времени t=0 всю массу движущихся частей гидравлического МК сосредоточенной в конце строительной длины, оценим время разгона и длину протяжки лидер-троса и провода, пользуясь принципом Даламбера [2, 8] и первым законом Ньютона [11, 12], из которого следует, что ускорение приведенной массы МК пропорциональна сумме действующих на него сил и обратно пропорциональна приведенной массе МК.

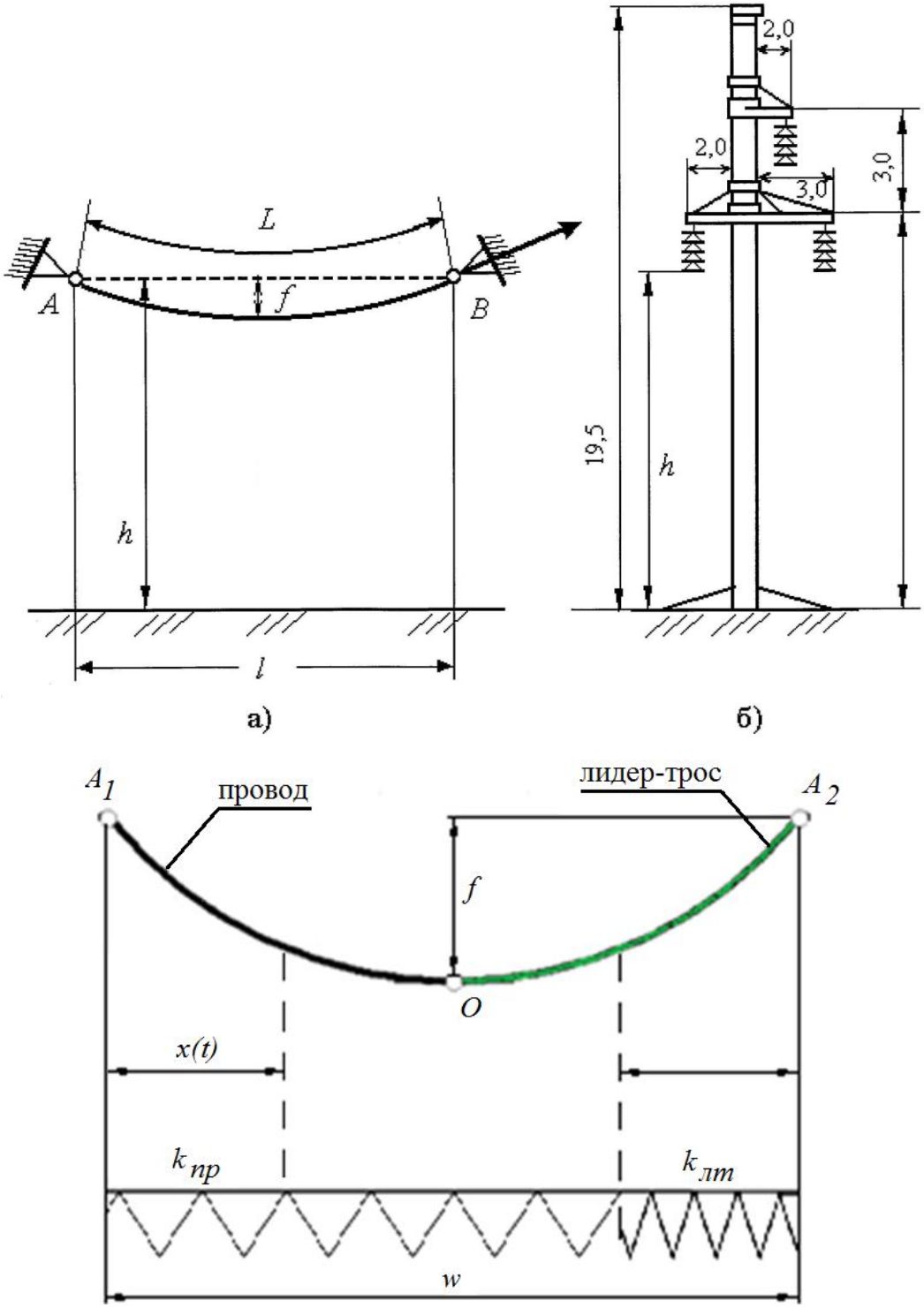


Рисунок 4. *Схема пролета ЛЭП ВЛ: а - схема пролета, б - опора ЛЭП; А и В - опоры; l - расстояние между опорами; h - высота опор; L - длина провода в пролете; f - стрела провеса троса, в - составной пролет (рис. авторов)*

Жесткость составного пролета будет равна [5]:

$$k = \frac{w \cdot k_{пр} \cdot k_{лтр}}{x \cdot k_{лтр} + (w - x) \cdot k_{пр}}. \quad (1)$$

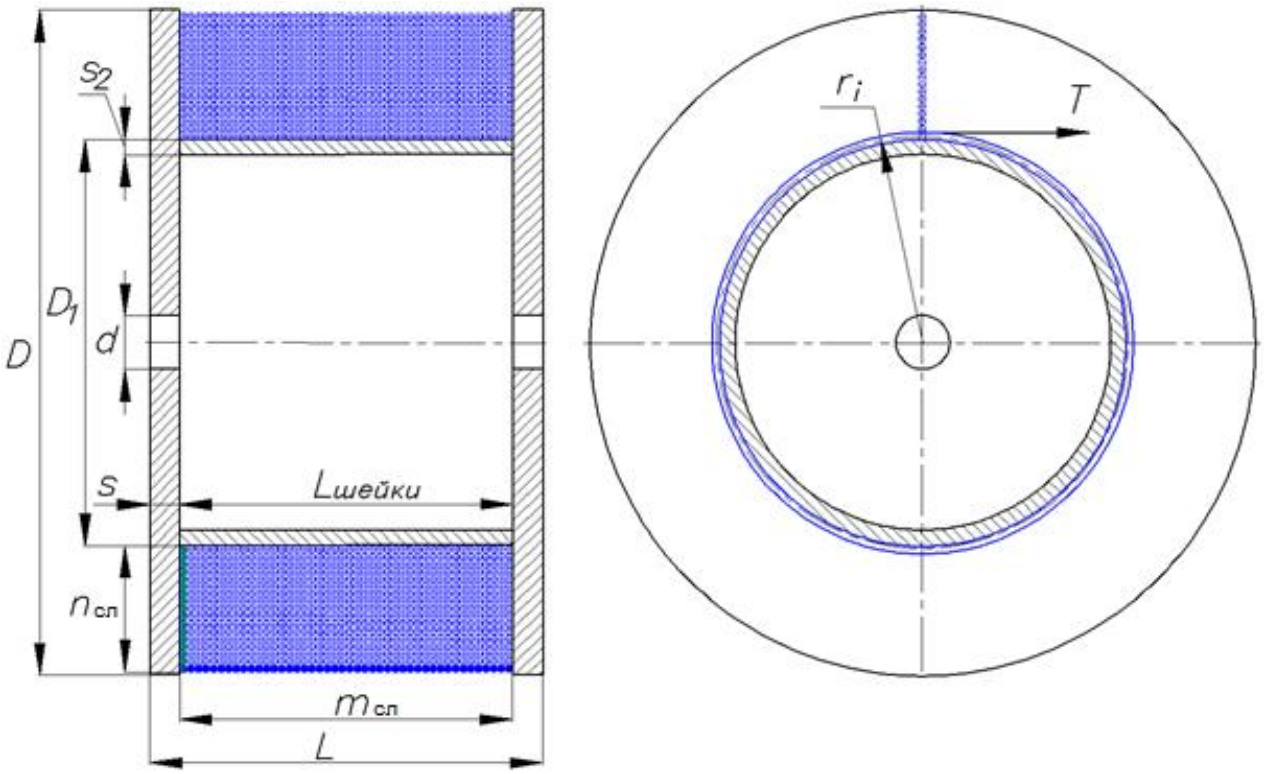


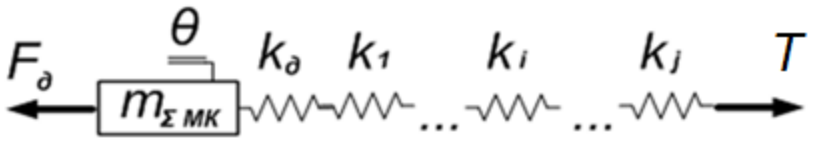
Рисунок 5. *Расчетная схема барабана с тросом: D - диаметр барабана, м;* D_1 *- диаметр шейки барабана, м; d - диаметр осевого отверстия, м; L - длина барабана, м;* $L_{шейки}$ *- длина шейки барабана, м; s - толщина щеки барабана, м;* s_2 *- толщина шейки барабана, м;* $m_{сл}$ *- количество витков провода на барабане, шт.;* $n_{сл}$ *- количество слоев провода на барабане, шт. (рис. авторов)*

Сила торможения сухого тормоза кабельного домкрата определим с помощью уравнения:

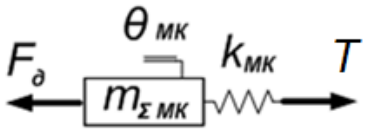
$$F_{кд\,i} = \frac{M_{кр.гп}}{r_{слоя\,i}}, \quad (2)$$

где: $M_{кр.гп}$ - крутящий момент домкрата (гидравлической подставки), равный 1800 Н·м, $r_{слоя\,i}$ - радиус *i*-ого слоя провода, намотанного на барабан.

Упрощенная одно-массовая динамическая модель гидравлического МК представлена на рис. 6.



а)



б)

Рисунок 6. *Одномассовая динамическая модель монтажного комплекса:*
а) с последовательной цепью упругих элементов (гиперболических цепных линий),
б) модель с суммарной жесткостью пролетов, составленных из цепных линий провода и лидер-троса, m - масса подвижных элементов гидравлическая МК приведенная к концу строительной длины [6]

Уравнение движения этой модели получено на основании принципа Даламбера [1, 6, 7, 8, 9, 10]:

$$-\ddot{x}_2 \cdot m - F_{ткб} + k_{пр}\,(x_1 - x_2) + T = 0, \qquad (3)$$

где: x_2 - перемещение конца строительной длины гибкой связи, m- приведенная масса движущихся элементов гидравлического комплекса. x1 - перемещение начала гибкой связи строительной длины, $k_{пр}$ - приведенный нелинейный коэффициент гибкой связи строительной длины (рис. 4), состоящей из последовательно соединенных лидер-троса и провода (кабеля) с перемещающейся в ходе монтажа точкой соединения лидер-троса с проводом (кабелем), $F_{ткб}$ - приведенная к концу гибкой связи силе торможения оборудования тормозной площадки (тормозного кабельного домкрата и гидравлической тормозной машины), T - тяговое усилие гидравлической натяжной машины (гидравлической тяговой лебёдки).

Простая одномассовая модель МК позволяет оперативно получить численные оценки времени, длин протяжки провода при разгоне и торможении (выбеге до полного останова МК).

Например, при натяжении 49 кН для приведения комплекса в движение со скоростью 5 км/ч (1,4 м/с) усилие торможения составляет 48,5 кН, что на 1% меньше, чем натяжение и меньше допустимого отклонения ±3%. Время разгона из состояния покоя до постоянной скорости монтажа составит 23,3 с.

На рис. 7 приведены результаты моделирования процесса разгона МК из состояния покоя до достижения максимальной постоянной скорости, проведенные для провода АС 240/56, имеющего прочность на разрыв 98 кН, требующего номинальное усилие тяжения 49 кН.

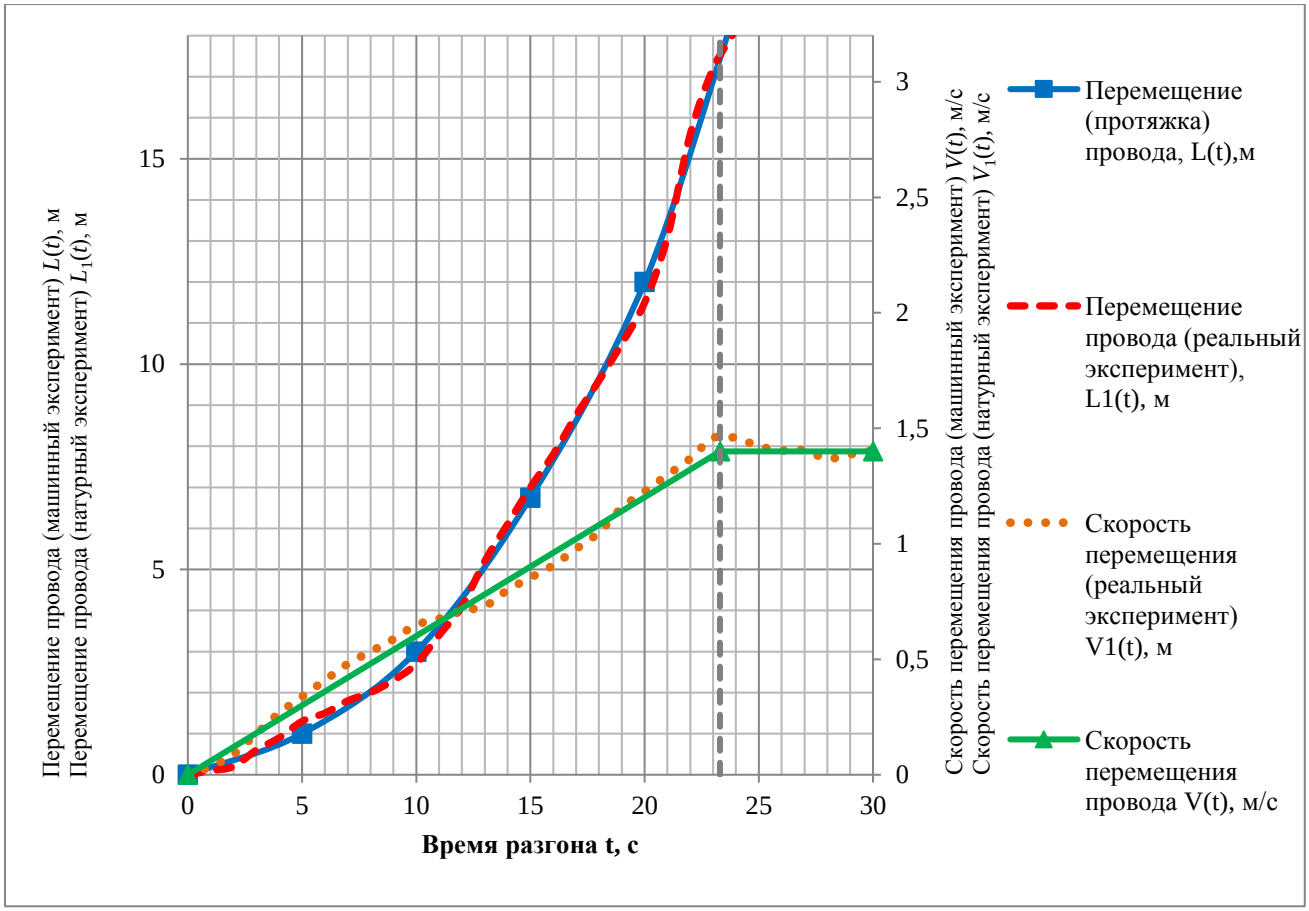


Рисунок 7. *График зависимости перемещения (протяжки провода) и изменения скорости в процессе разгона из состояния покоя до постоянной максимальной скорости 1,4 м/с для провода АС 240/56 (рис. авторов)*

Моделирование проведено при превышении тягового усилия над тормозным на 1%, что составляет 49-48,51=49 Н, т.е. разгон осуществляется при постоянной ускоряющей силе 490 Н, который сообщает ускорение подвижной части комплекса, равное 0,06 м/с.

Время разгона до максимальной постоянной скорости для провода АС 240/56 составляет 23,3 с, при этом, протяжка провода равна 16,2 м. Расчет показывает, что время разгона (23,3 с) на 2 порядка меньше времени монтажа при постоянной скорости (2666,4 с), а перемещение провода 12,8 м значительно (на 2 порядка) меньше строительной длины провода (3762 м).

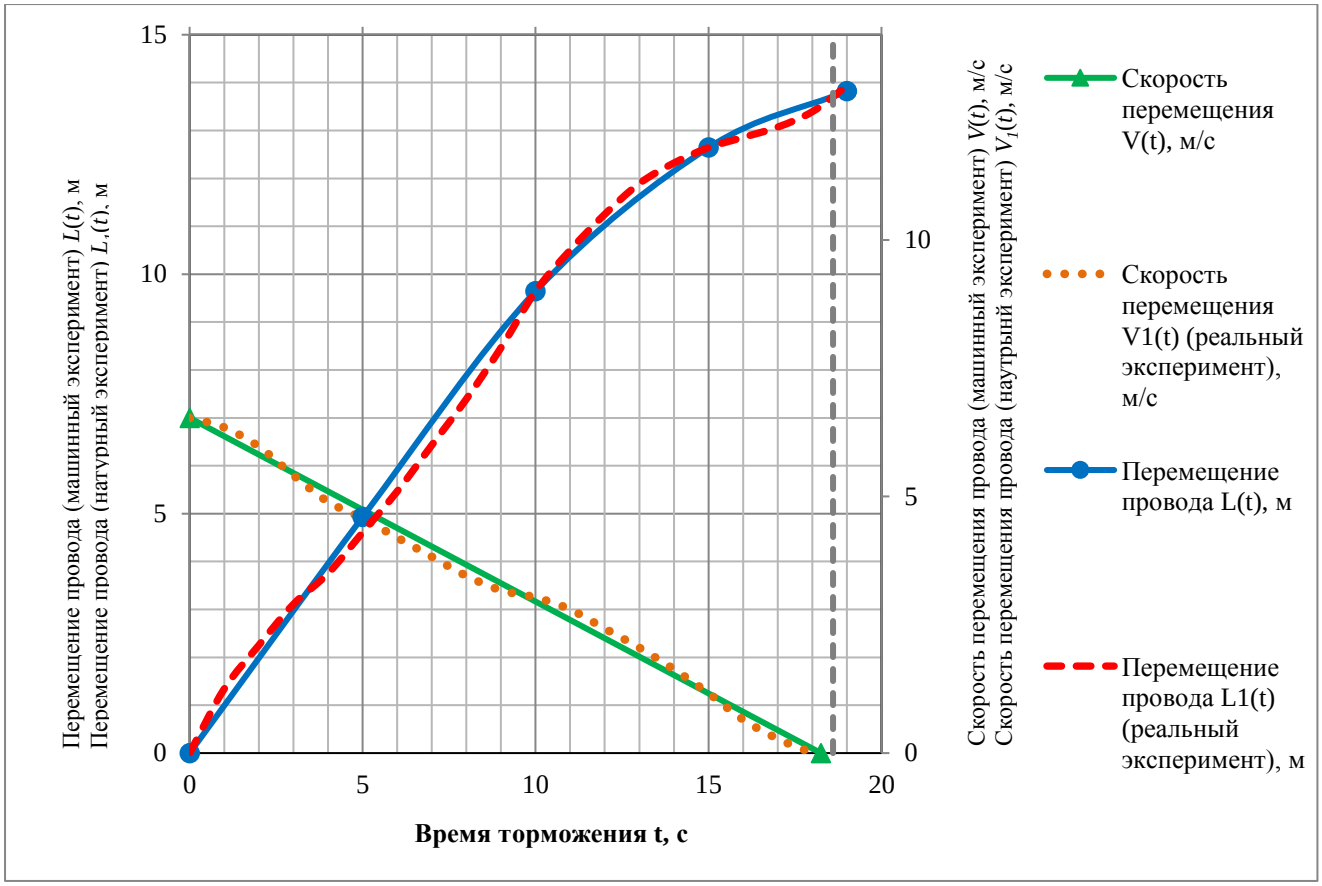


Рисунок 8. *График зависимости перемещения (протяжки провода) и изменения скорости в процессе торможения до полной остановки для провода АС 240/56 (рис. авторов)*

Торможение до полной остановки для провода АС 240/56 на рис. 8.

Сравнение результатов машинного эксперимента с результатами натурных испытаний. Экспериментальная проверка режимов управления гидравлическим монтажным комплексом производилась на оборудовании фирмы ЗАО «СИ» (г. Москва) путем установки на натяжные и тормозные машины регистраторов-электронных самописцев, записывающих технические параметры тяжения (усилие протяжки, длина и скорость протяжки провода). На рис. 9 показана установка регистратора на натяжной машине (гидравлическая машина).

Рисунок 9. *Гидравлическая машина с регистратором (фото авторов)*

Максимальные расхождения натурного испытания от машинного эксперимента составили:

- для провода АС 240/56 при разгоне при t=20 с составляет 1,3%;
- для провода АС 240/56 при торможении при t=7,5 с составляет 5,4%.

Сравнение результатов натурных испытаний с данными, полученными путем машинного эксперимента показали правильность разработанных нами моделей, точность машинного эксперимента согласуется с данными по точности лидеров-производителей гидравлического оборудования (Tesmec, [13]).

Некоторое расхождение в данных машинного и натурного экспериментов можно объяснить отличием реальных характеристик гидравлического оборудования и инерционными явлениями в переходных режимах работы гидравлических приводов. Хотя детальное исследование особенностей работы использовавшихся гидроаппаратов нами не производилось, так как в гидравлических МК применяется широкий ряд гидроаппаратов и приводов различных конструкций и производителей, что, однако, не влияет на правильность разработанных рекомендаций по управлению гидравлических МК, в которых могут применяться гидравлические машины различных конструкций.

С помощью разработанных динамических моделей монтажного комплекса ЛЭП исследована работа МК на различных этапах монтажа - разгон до максимальной скорости, монтаж при максимальной постоянной скорости и торможение (выбег) до полного безаварийного (в соответствии с длиной монтируемого провода или кабеля) останова комплекса.

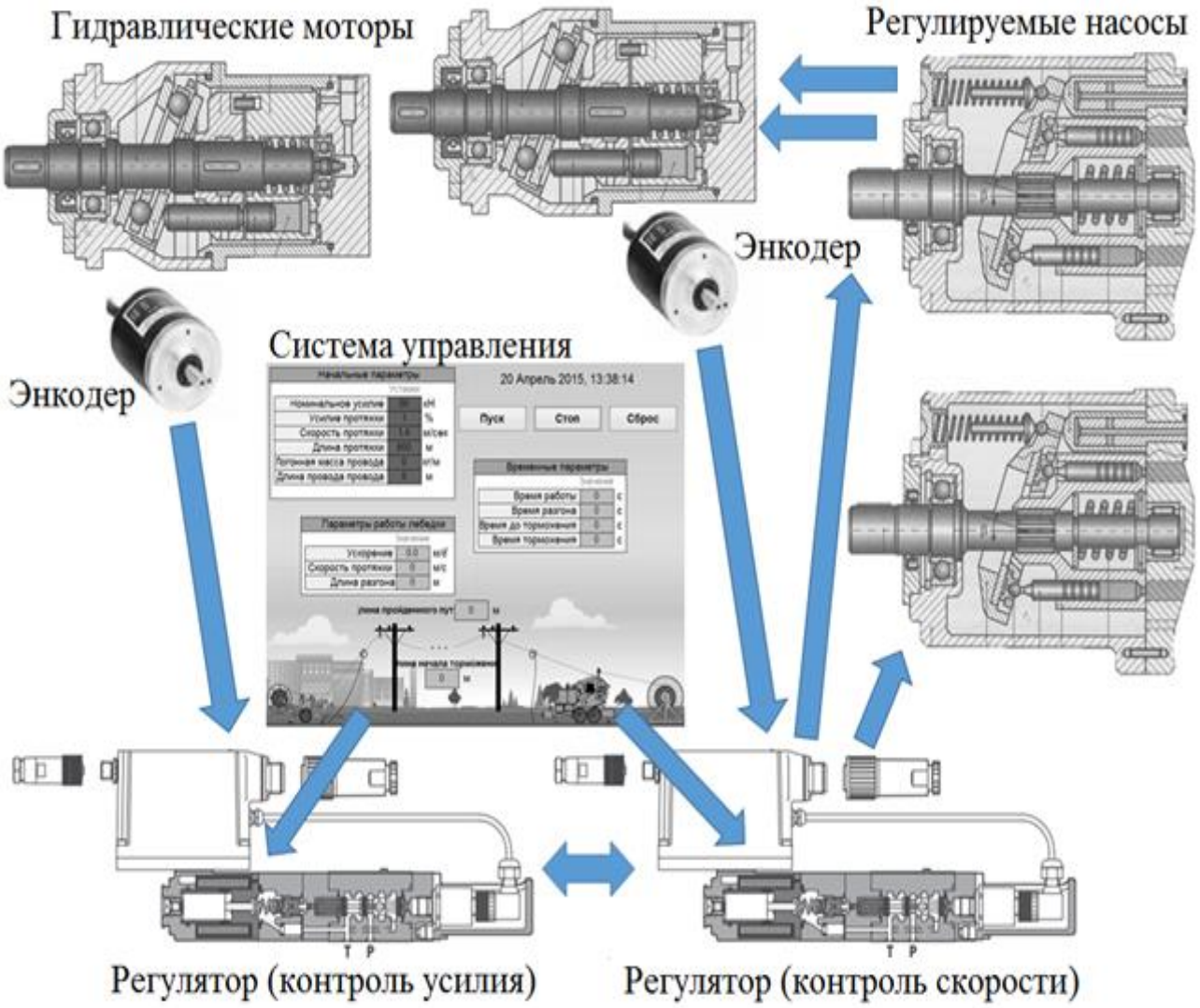


Рисунок 10. *Автоматизированная система управления гидравлическим монтажным комплексом (рис. авторов)*

Автоматизированная система реализуется с применением гидравлических аппаратов, задающих давление и расход гидравлического масла в системе, которые определяют усилие тяжения и скорость протяжки (рис. 10 и 11).

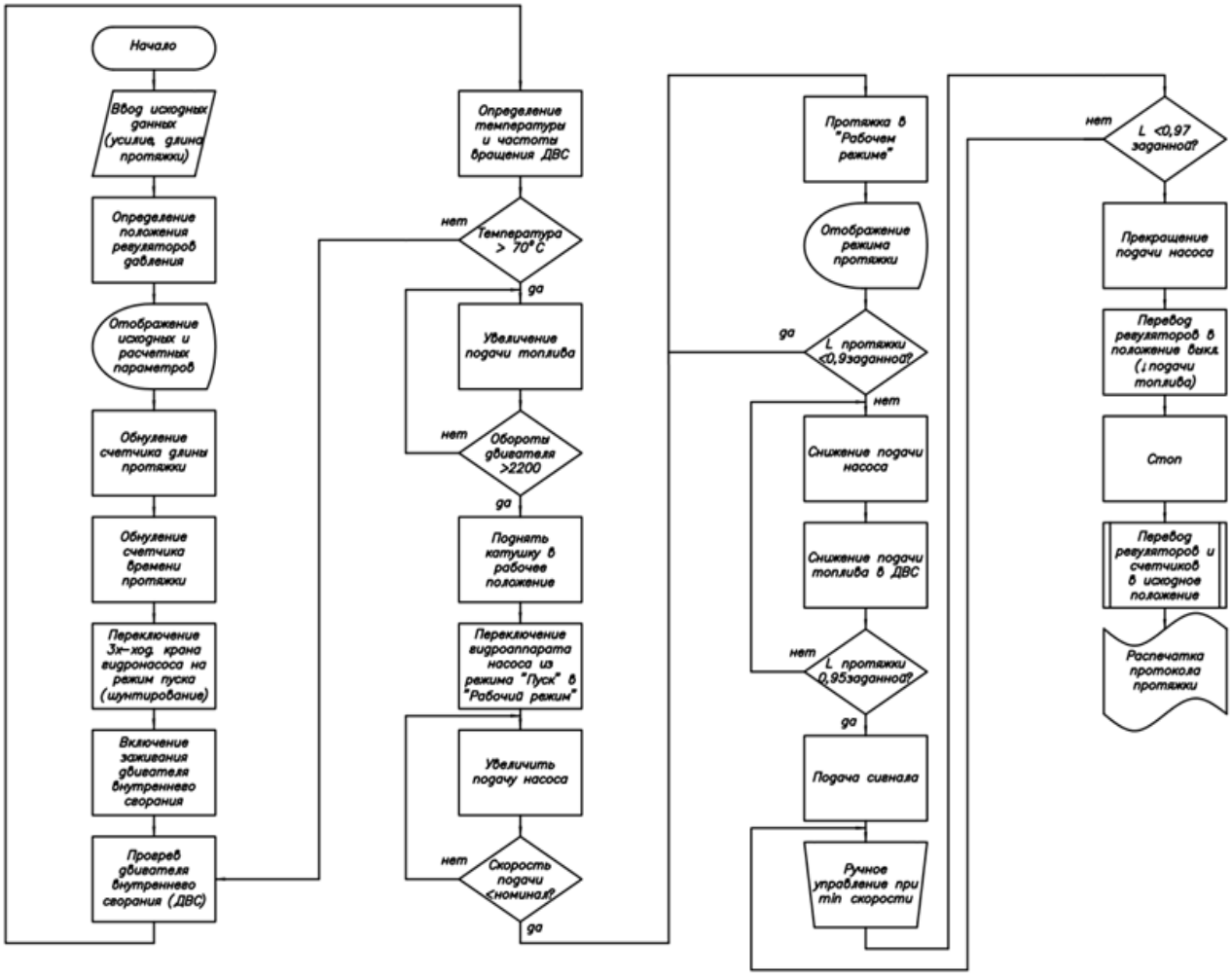


Рисунок 11. *Алгоритм работы автоматизированного монтажного комплекса (рис. авторов)*

Полученные математические модели работы гидравлического комплекса представляются в виде дифференциальных уравнений второго порядка. Они описывают его поведение на всех этапах его работы - разгон, работа при максимальной скорости протяжки и торможение (выбег) до полного останова.

Это дает возможность при использовании автоматизированного управления (рис. 12) выполнять технологические проектные требования (усилие тяжения, длины протяжки), рассчитанные с помощью пакетов программ для проектирования отдельных строительных длин, для каждого из многочисленных пролетов, задаваемых индивидуально для строящегося объекта.

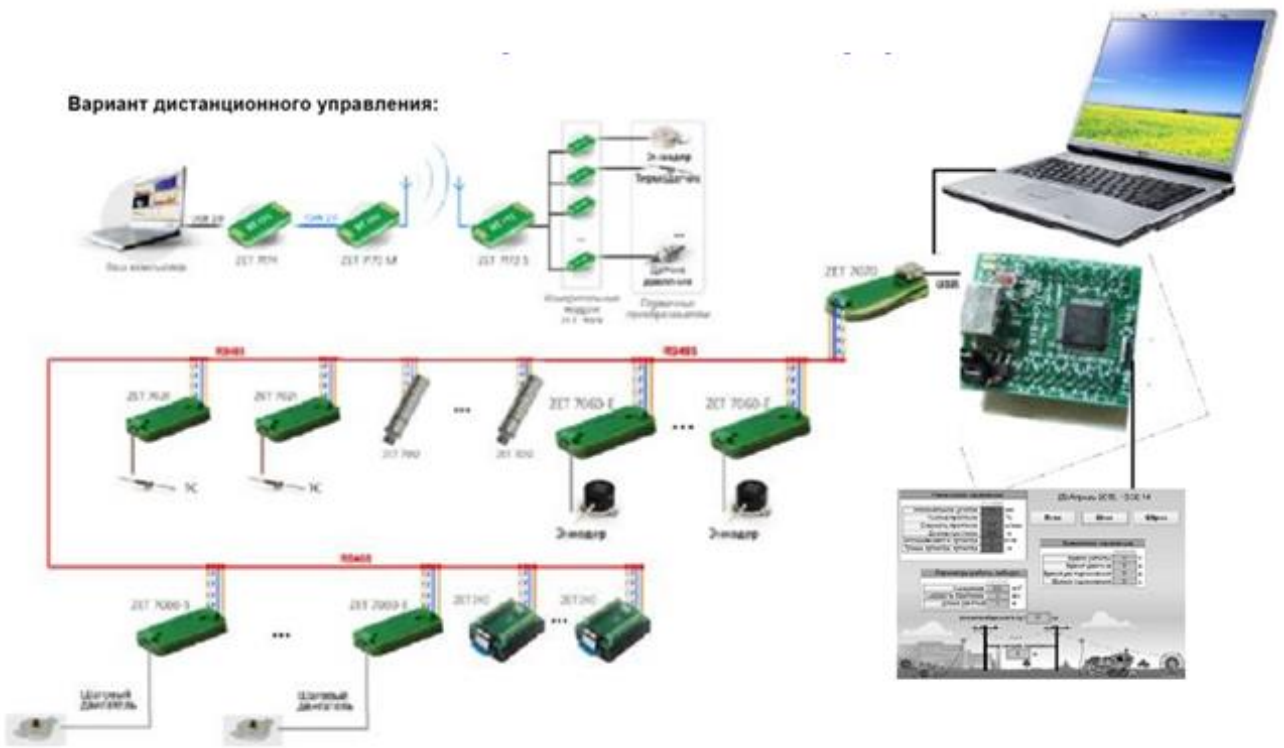


Рисунок 12. *Структурная схема автоматизации монтажного комплекса (рис. авторов)*

Выводы

Исследован гидравлический монтажный комплекс монтажа «под тяжением» как объект автоматизации. Полученные модели описывают работу комплекса. Даны результаты машинного эксперимента на модели и экспериментальных исследований, их подтверждающих. Даются рекомендации по автоматизации комплекса на основе микропроцессорных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 839-80. Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. Технические условия. - Введ. 1981-01-01. - М.: Изд-во стандартов, 2002. - 22 с.
2. Даламбер Ж. Динамика. Пер. с франц. - М.-Л.: Гостехтеориздат, 1950.
3. Иванов Н.П. Презентация «Программа механического расчета проводов, тросов и самонесущих кабелей линий связи и электропередачи «LineMech» &«LineMechCad» [Электронный ресурс] URL: http://linecross.ru/LineMech.pps (дата обращения: 01.04.2015).
4. Иванов Н.П. Презентация «Программа расчета монтажных тяжений и стрел провеса проводов, тросов и самонесущих кабелей линий связи и электропередачи «LineMount, LineMount_damp, LineMountCad_damp» [Электронный ресурс] URL: http://linecross.ru/LineMount.pps (дата обращения: 01.04.2015).
5. Моделирование динамической системы «Кабель - Лидер-трос» / А.В. Картовенко // Эффективные методы автоматизации подготовки и планирования производства. 9-я ежегодная конференция: сборник научных трудов. - М.: Издательский дом «Спектр», 2012. - 208 с.: ил. - С. 34-39.
6. Динамическая модель монтажного комплекса воздушных линий электропередач / А.В. Картовенко // МГТУ им. Н.Э. Баумана Известия высших учебных заведений. Машиностроение. Научно-технический журнал - 2012. - №12. - С. 66-69.
7. Минаков А.П. Основы механики нити. - Научно-исследовательские труды Московского текстильного института, 1941, т. 9, вып. 1.
8. Павленко Ю.Г. Лекции по теоретической механике. - М.: Физматлит, 2002. - 392 с.
9. Пановко Г.Я. Динамика вибрационных технологических процессов. РХД. М. - Ижевск. 2006, 158 с.
10. Писаренко Н.С. Рассеяние энергии при механических колебаниях. - Киев: Изд. ак. наук Украинской ССР, 1962. - 436 с.
11. Тюлина И.А. История и методология механики. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. - 282 с.
12. Энергоэффективность в электрических сетях. Провода ЛЭП пора менять. Федоров Н.А. 11.01.2013 [Электронный ресурс] URL: http://portal-energo.ru/articles/details/id/621 (дата обращения: 01.03.2016).
13. Tesmec Railways Equipment [Электронный ресурс] URL: https://www.youtube.com/watch?v=BRriHPmbnvk (дата обращения: 15.06.2016).

Gavrushin Sergei Sergeevich
Bauman Moscow state technical university, Russia, Moscow
E-mail: challacha@mail.ru

Arbuzov Evgeniy Vasil'evich
Bauman Moscow state technical university, Russia, Moscow
E-mail: eva_412@mail.ru

Kartovenko Alla Valer'evna
Bauman Moscow state technical university, Russia, Moscow
E-mail: challacha@mail.ru

Modeling results of the assembly complex work for the overhead power lines construction

Abstract. The article discusses the results of a study of the power lines assembly complex. In the research work equipment and cable tension are explored. Three stages of the machines work are represented, they are acceleration, steady-state operation and coasting. The complex speed is limited by the wire pulling force and natural limitations, so that force cannot be higher than 3-5% from the designed values. Designers of power lines define the tension force boundaries, and the equipment process it. Since the urgency of the task is associated with the emergence of new wire types, the question arose about the automation of hydraulic equipment, which uses a new type of installation - "by stringing". During the study of the assembly complex a dynamic model was developed, machine and full-scale experiments were held. Full-scale experiment was carried out using a registrator, which was installed on the machine, after comparing the results showed a high degree of convergence. The differences are related to the peculiarities of hydraulic machines. In general, the model showed good results. On the basis of this study, it can be argued that the automated assembly systems take place and can be used for the creation of new automated systems for the construction of power lines.

Keywords: hydraulic equipment; power lines tensioning; automation of technological processes; assembly complex; cable; power lines; hydraulic systems automation