

## ПОДДЕРЖАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ СЛОЖНООРГАНИЗОВАННОЙ БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ЛЭП – ЧЕЛОВЕК – ПРИРОДА» СРЕДСТВАМИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ

**В. А. Чернышов, Е. А. Печагин, А. В. Кобелев**

*ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный  
университет», г. Орел, Россия;*

*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный  
технический университет», г. Тамбов, Россия*

*Рецензент д-р техн. наук, профессор* Е. И. Глинкин

**Ключевые слова:** автоматическое управление; биотехническая система; воздушная линия электропередачи; экологическая кибернетика; экологическое равновесие.

**Аннотация:** Обоснована необходимость поддержания экологического равновесия биотехнической системы «ЛЭП – Человек – Природа», направленного на сохранение устойчивости протекания социальных, биологических, технических и прочих процессов, связанных с воздушной передачей электрической энергии на расстояние.

Предложен эффективный способ поддержания экологического равновесия сложноорганизованной биотехнической системы «ЛЭП – Человек – Природа», базирующийся на принципах кибернетики и теории автоматического управления

Рассмотрена схема автоматического поддержания экологического равновесия сложноорганизованной биотехнической системы «ЛЭП – Человек – Природа», обеспечивающая автоматический контроль текущих параметров, характеризующих экологическую обстановку вокруг ЛЭП, избирающая оптимальные способы регулирования, а также формирующая оптимальные регулирующие воздействия, направленные на стабилизацию различных возмущающих факторов, возникающих внутри биотехнической системы «ЛЭП – Человек – Природа» и нарушающих ее экологическое равновесие.

---

Чернышов Вадим Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрооборудование и энергосбережение», ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет», г. Орел, Россия; Печагин Евгений Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика», e-mail: pechagin\_ea@mail.ru; Кобелев Александр Викторович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электроэнергетика», ТамбГТУ, г. Тамбов, Россия.

В связи с быстрым ростом протяженности и разветвленности воздушных линий электропередачи (ЛЭП) разного класса напряжения, становится все более заметным их антропогенное влияние. Прогрессивный рост электросетевой инфраструктуры является причиной многих необратимых изменений в природных ландшафтах, характеризующихся вытеснением флоры и фауны из естественного ареала обитания. Рост протяженности и разветвленности воздушных электрических сетей сопровождается увеличением числа аварийных ситуаций на воздушных ЛЭП, обусловленных разными причинами, основными из которых являются воздействие погодно-климатических факторов, влияние флоры и фауны, а также результаты жизнедеятельности самого человека [1]. При этом аварии на воздушных ЛЭП нередко являются причиной гибели людей и животных, а также возникновения лесных пожаров. Развитие энергетики неизбежно ведет к определенным изменениям в окружающей природной среде, которые не должны приводить к глобальным экологическим проблемам, поэтому они нуждаются в постоянном контроле и наблюдении.

Для обеспечения устойчивости социальных, биологических, технических и прочих процессов, протекающих в сложноорганизованной биотехнической системе «ЛЭП – Человек – Природа», необходимо минимизировать антропогенную деятельность человека, связанную с воздушной передачей электрической энергии на расстояние.

В настоящее время, в связи с активным продвижением природоподобных технологий, во многих отраслях науки и производства стали активно развиваться исследования в области кибернетики, как науки, рассматривающей процессы управления в сложноорганизованных биотехнических системах. Направление в кибернетике, рассматривающее вопросы автоматического управления в экологии, называется экологической кибернетикой, которая включает в себя анализ и синтез сложных биотехнических процессов, для которых не существует точного описания или нет возможности достоверно его провести.

На современном этапе известно множество научных работ в области экологической кибернетики, выполненных как отечественными, так и зарубежными учеными и посвященных вопросам совершенствования теории и методов моделирования. Вместе с тем ни одна из известных работ не позволяет в полной мере, объективно, объяснить и адекватно описать процессы, протекающие в сложноорганизованной биотехнической системе «ЛЭП – Человек – Природа». Данное обстоятельство обуславливает высокий уровень актуальности проведения научно-исследовательских работ в указанном направлении.

Быстрый уровень развития автоматики, информационно-вычислительных и телекоммуникационных технологий открывает перед научным сообществом возможности [2, 3] по разработке и внедрению принципиально новых методов управления сложноорганизованными биотехническими процессами, позволяющими предотвратить риск возникновения глобального экологического кризиса, связанного с антропогенной деятельностью человека по передаче электрической энергии посредством воздушных ЛЭП.

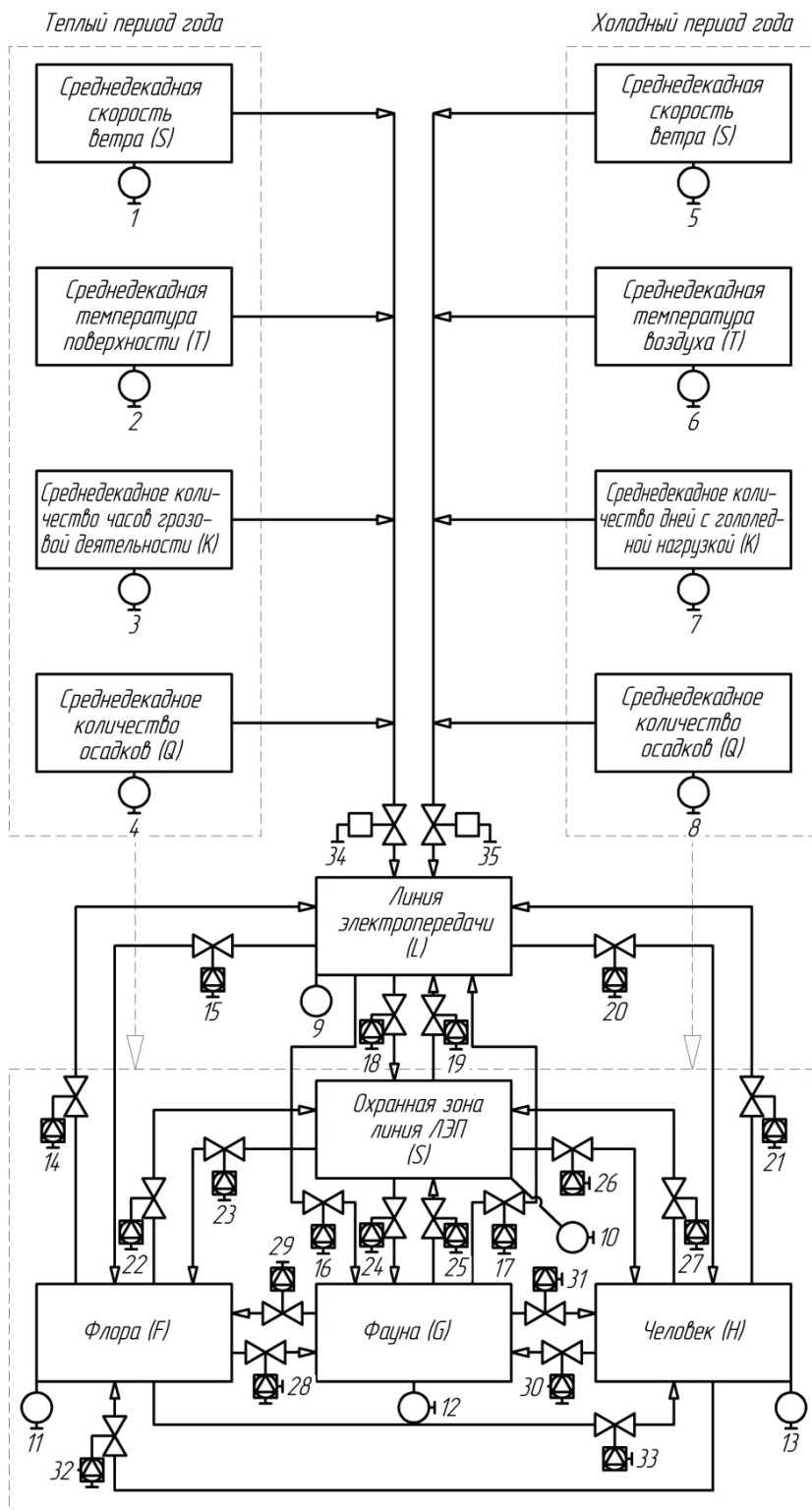


Рис. 1. Функциональная схема автоматического поддержания экологического равновесия биотехнической системы «ЛЭП – Человек – Природа» (начало)

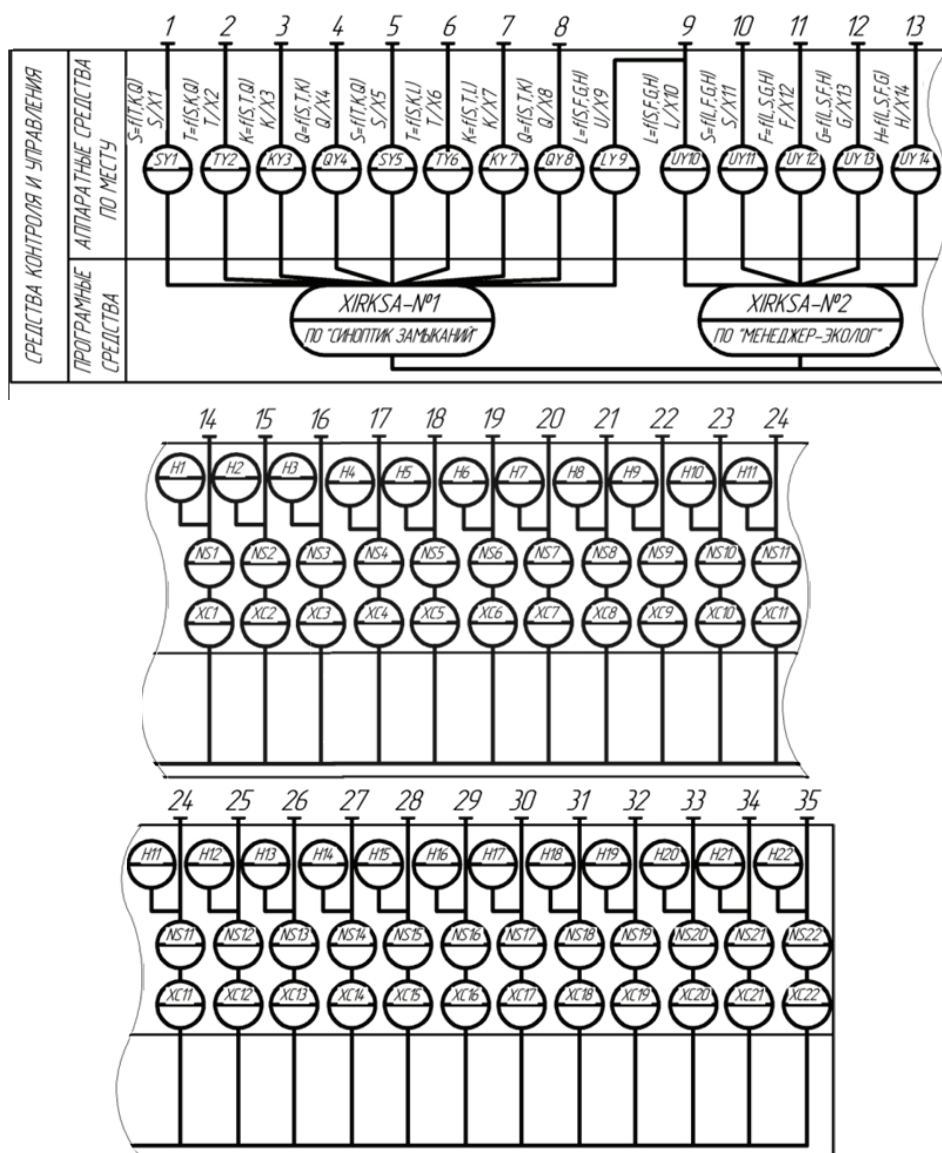


Рис. 1. Окончание

На рисунке 1 изображена функциональная схема автоматического поддержания экологического равновесия биотехнической системы «ЛЭП – Человек – Природа» [4]. Основными контролируемыми объектами биотехнической системы «ЛЭП – Человек – Природа» являются: воздушная линия электропередачи  $L$ ; санитарно-защитная или охранная зона воздушной ЛЭП  $S$ ; флора  $F$ ; фауна  $G$ ; человек  $H$ . Контроль состояния и управление взаимодействием данных элементов осуществляется посредством разработанной системы автоматического регулирования (САР), включающей следующие элементы: датчики-регистраторы  $1 - 13$ , которые могут быть как наземного, так и воздушного и даже космического базирования, преобразователи информации (SY1–UY14), технологические кон-

троллеры XIRKSA–№ 1 и XIRKSA–№ 2, регулирующие органы XC1–XC22, средства запуска NS1–NS22 и исполнительные механизмы 14 – 33.

Информация, характеризующая влияние погодно-климатических факторов на аварийность ЛЭП, поступает с датчиков 1 – 9 через преобразователи информации (SY1–LY9) на микроконтроллер XIRKSA–№ 1 с установленным на нем программным обеспечением (ПО) «Синоптик замыканий» [5].

В основе функционирования программного обеспечения «Синоптик замыканий» заложена теория математического моделирования ожидаемого, удельного числа аварий на ЛЭП, характеризующихся разным уровнем напряжения, разной длиной и разным техническим состоянием для теплого и холодного периодов года, опирающаяся на данные статистики об аварийности ЛЭП и значениях погодно-климатических факторов на момент аварии. Микроконтроллер XIRKSA–№ 1 формирует объективную информацию об эксплуатационной безопасности элемента *L*.

Информация, характеризующая качественное и количественное состояние элементов (*L*, *S*, *F*, *G*, *H*), поступает от датчиков регистраторов 9 – 13 через преобразователи информации UY10–UY14 на микроконтроллер XIRKSA–№ 2 с установленным ПО «Менеджер-эколог» [6].

В основе функционирования ПО «Менеджер-эколог» лежит кибернетическая теория потоковых графов, позволяющая достоверно, качественно и количественно, оценивать влияния каждого элемента биотехнической системы друг на друга и на всю систему в целом (как напрямую, так и посредственно, через другие элементы), а также влияние всей биотехнической системы на каждый элемент.

Микроконтроллер XIRKSA–№ 2 формирует управляющие сигналы регулирующим органам XC1–XC22 (организациям, структурным подразделениям и службам) на использование необходимых пусковых ресурсов NS1–NS22 и запуск исполнительных механизмов 14 – 33 для осуществления мероприятий непрерывного, прерывистого и релейного регулирующих воздействий, направленных на стабилизацию экологического равновесия биотехнической системы «ЛЭП – Человек – Природа».

В процессе взаимодействия элементов биотехнической системы, они оказывают друг на друга положительное, нейтральное и отрицательное воздействия. Все это происходит под влиянием целого ряда факторов, в том числе и погодно-климатических. Возмущающие воздействия могут повлечь за собой нарушение экологического равновесия биотехнической системы.

В качестве регулирующих исполнительных механизмов, используемых для стабилизации экологического равновесия, проводятся разнообразные организационные и технические мероприятия [7, 8], направленные на охрану окружающей природной среды, безопасность жизнедеятельности человека и эксплуатационную надежность работы воздушной ЛЭП.

При выявлении неэффективного регулирующего воздействия, на его использование вносится корректировка, частичная блокировка или полный запрет посредством предписаний Н1–Н22, формируемых уполномоченными лицами (руководителями соответствующих организаций, структурных подразделений и служб), осуществляющими непрерывный мониторинг экологической безопасности биотехнической системы «ЛЭП –

Человек – Природа», которые также могут выполнять и функции преобразователей информации (SY1–LY14). В процессе реализации функций по автоматическому поддержанию экологического равновесия биотехнической системы «ЛЭП – Человек – Природа» разработанная САР должна обеспечивать следующие способы регулирования: по отклонению регулируемой величины, по возмущению и комбинированный. Для мониторинга экологической безопасности биотехнической системы «ЛЭП – Человек – Природа» разработан ряд оценочных критериев, таких как критерий эксплуатационной безопасности ЛЭП и критерий экологической безопасности ЛЭП [9]. На основании данных критериев разработанная САР контролирует текущие параметры, характеризующие экологическую обстановку вокруг ЛЭП, избирает оптимальные способы регулирования и формирует оптимальные регулирующие воздействия, направленные на стабилизацию различных возмущающих факторов внутри биотехнической системы «ЛЭП – Человек – Природа», негативно влияющих на ее экологическое равновесие.

На основании вышеизложенного предложен и теоретически обоснован эффективный способ поддержания экологического равновесия биотехнической системы «ЛЭП – Человек – Природа», базирующийся на теории автоматического управления и регулирования, позволяющий минимизировать антропогенное влияние воздушных ЛЭП на природную среду и обеспечить им стабильную работу и безопасность для человека.

#### *Список литературы*

1. Глыбина, Ю. Н. Анализ видов и количества повреждений в электрических сетях класса напряжения 6 – 10 кВ / Ю. Н. Глыбина, Р. П. Беликов, И. Н. Фомин // Агротехника и энергообеспечение. – 2017. – № 3 (16). – С. 43 – 49.
2. Мешков, Б. Н. Закон энергоэффективности, продиктованный природой / Б. Н. Мешков, В. А. Чернышов // Главный энергетик. – 2013. – № 8. – С. 32 – 35.
3. Гавриченко, А. И. Разработка автоматизированной информационно-измерительной системы контроля и прогнозирования профессиональных рисков на электросетевых предприятиях агропромышленного комплекса / А. И. Гавриченко, Р. П. Беликов // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2015. – № 209-2. – С. 80 – 86.
4. Чернышов, В. А. Обеспечение экологического равновесия биотехнической системы «ЛЭП-Человек-Природа», основанное на принципах кибернетики и теории автоматического управления / В. А. Чернышов // Вестник аграрной науки. – 2018. – № 1 (70). – С. 65 – 73. doi: 10.15217/issn2587-666X.2018.1.65
5. Свидетельство о гос. рег. программ для ЭВМ № 2008610196. Расчет ожидаемого количества замыканий на землю в распределительных сетях 10 кВ с изолированной нейтралью SIZAM (синоптик замыканий) / В. А. Чернышов, А. И. Гавриченко (РФ). Зарегистр. в реестре программ для ЭВМ. – 09 января 2008 г.
6. Свидетельство о гос. рег. программ для ЭВМ № 2011616873. «ECOLOGICAL EXPERTS (for system Power line–Human–Nature) –экологическая экспертиза биотехнической системы ЛЭП-Человек-Природа» / В. А. Чернышов, Л. А. Чернышова (РФ). Зарегистр. в реестре программ для ЭВМ. – 06 сентября 2011 г.
7. Пат. 2441365 РФ, МПК А01G23/00. Способ предотвращения повреждений на воздушных линиях электропередачи проходящих по лесным труднодоступным просекам: пат / А. И. Гавриченко, В. А. Чернышов, Е. А. Печагин, Л. А. Чернышова ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный

технический университет». – № 2010131306/13 ; заявл. 26.07.2010 ; опубл. 10.02.2012. – Бюл. № 4. – 5 с.

8. Обобщенный критерий эксплуатационной безопасности распределительной сети с изолированной нейтралью / В. А. Чернышов [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 567 – 571. doi: 10.17277/vestnik.2015.04.pp.567-571

9. Чернышов, В. А. Обоснование критериев антропогенной и экологической безопасности воздушной линии электропередачи / В. А. Чернышов, Л. А. Чернышова // Агротехника и энергообеспечение. – 2014. – № 2 (2). – С. 60 – 71.

### References

1. Glybina Yu.N., Belikov R.P., Fomin I.N. [Analysis of types and amount of damages in electrical networks of voltage class 6-10 kV], *Agrotekhnika i energoobespecheniye* [Agrotechnika and energy supply], 2017, no. 3 (16), pp. 43-49. (In Russ., abstract in Eng.)

2. Meshkov B.N., Chernyshov V.A. [The law of energy efficiency dictated by nature], *Glavnyy energetik* [Chief Power Engineer], 2013, no. 8, pp. 32-35. (In Russ.)

3. Gavrichenko A.I., Belikov R.P. [Development of an automated information-measuring system for monitoring and forecasting professional risks at the electric grid enterprises of the agro-industrial complex], *Naukoviy visnik NUBiP Ukraini. Seriya: Tekhnika ta yenergetika APK* [Science Bulletin of NUBiP Ukraine. Seriya: Tekhnika ta power engineering AIC], 2015, no. 209-2, pp. 80-86. (In Russ., abstract in Eng.)

4. Chernyshov V.A. [Ensuring the ecological balance of the biotechnical system “LEP-Man-Nature”, based on the principles of cybernetics and the theory of automatic control], *Vestnik agrarnoy nauki* [Bulletin of Agrarian Science], 2018, no. 1 (70), pp. 65-73, doi: 10.15217/issn2587-666X.2018.1.65 (In Russ., abstract in Eng.)

5. Chernyshov V.A., Gavrichenko A.I. *Raschet ozhidayemogo kolichestva zamykaniy na zemlyu v raspredelitel'nykh setyakh 10 kV s izolirovannoy neytral'yu SIZAM (sinoptik zamykaniy)* [Calculation of the expected number of earth faults in 10 kV distribution networks with an isolated SIZAM neutral (fault synoptic)], Russian Federation, 2008, Certificate of state registration of computer programs No. 2008610196. (In Russ.)

6. Chernyshov V.A., Chernyshova L.A. «*ECOLOGY-EXPERTS (for system Power line-Human-Nature) – ekologicheskaya ekspertiza biotekhnicheskoy sistemy LEP-Chelovek-Priroda* [“ECOLOGY-EXPERTS (for system Power line – Human – Nature) – ecological examination of the bio-technical system of “Power lines-Man-Nature”], Russian Federation, 2011, Certificate of state registration of computer programs No. 2011616873. (In Russ.)

7. Gavrichenko A.I., Chernyshov V.A., Pechagin Ye.A., Chernyshova L.A. *Sposob predotvrashcheniya povrezhdeniy na vozdushnykh liniyakh elektroperedachi prokhodyashchikh po lesnym trudnodostupnym prosekam* [The way to prevent damage to overhead power lines passing through forest hardcapes], Russian Federation, 2012, Pat. 2441365. (In Russ.)

8. Chernyshov V.A., Chernyshov A.A., Pechagin Ye.A., Yegorov M.G. [The generalized criterion of operational safety of a distribution network with an isolated neutral], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2015, vol. 21, no. 4, pp. 567-571, doi: 10.17277/vestnik.2015.04.pp.567-571 (In Russ., abstract in Eng.)

9. Chernyshov V.A., Chernyshova L.A. [Justification of the criteria of anthropogenic and environmental safety of an overhead power line], *Agrotekhnika i energoobespecheniye* [Agrotechnika and Energy], 2014, no. 2 (2), pp. 60-71. (In Russ., abstract in Eng.)

**Maintaining the Ecological Balance of the Complex Biotechnological System “Power Transmission Line – Man – Nature” by Means of Automated Control and Regulation**

**V. A. Chernyshov, E. A. Pechagin, A. V. Kobelev**

*Oryol State Agrarian University, Oryol, Russia;  
Tambov State Technical University, Tambov, Russia*

**Keywords:** automated control; biotechnical system; overhead power line; environmental cyber ties; ecological balance.

**Abstract:** The necessity of maintaining the ecological balance of the biotechnical system “Power Transmission Line – Man – Nature”, aimed at maintaining the stability of the social, biological, technical and other processes associated with the air transmission of electric energy over a distance, is substantiated.

An effective way to maintain the ecological balance of a complex biotechnical system “Power Transmission Line – Man – Nature”, based on the principles of cybernetics and the theory of automatic control, is proposed.

The scheme automatically maintain the ecological balance of complex biotechnical systems “Power Transmission Line – Man – Nature”, which provides automatic control of current parameters characterizing the environment around power lines, choosing the optimal control methods, as well as forming the optimal control action to stabilize the various disturbing factors that occur inside of biotechnical systems “Power Transmission Line – Man – Nature” and in violation of its ecological balance.

---

© В. А. Чернышов, Е. А. Печагин, А. В. Кобелев, 2019