

INTERNATIONAL
SCIENCE REVIEWS



No.2 (2) 2021

Natural Sciences and
Technologies series



INTERNATIONAL SCIENCE REVIEWS

Natural Sciences and Technologies series

Has been published since 2020

№2 (2) 2021

Nur-Sultan

EDITOR-IN-CHIEF:

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician of NAS RK, Professor
Kalimoldayev M. N.

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

Doctor of Biological Sciences, Professor
Myrzagaliyeva A. B.

EDITORIAL BOARD:

- | | |
|----------------------------|--|
| Akiyanova F. Zh. | - Doctor of Geographical Sciences, Professor (Kazakhstan) |
| Seitkan A. | - PhD, (Kazakhstan) |
| Baysholanov S. S | - Candidate of Geographical Sciences, Associate professor (Kazakhstan) |
| Zayadan B. K. | - Doctor of Biological Sciences, Professor (Kazakhstan) |
| Salnikov V. G. | - Doctor of Geographical Sciences, Professor (Kazakhstan) |
| Tasbolatuly N. | - PhD, (Kazakhstan) |
| Urmashhev B.A | - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, (Kazakhstan) |
| Abdildayeva A. A. | - PhD, (Kazakhstan) |
| Chlachula J. | - Professor, Adam Mickiewicz University (Poland) |
| Redfern S.A.T. | - PhD, Professor, (Singapore) |
| Cheryomushkina V.A. | - Doctor of Biological Sciences, Professor (Russia) |
| Bazarnova N. G. | - Doctor Chemical Sciences, Professor (Russia) |
| Mohamed Othman | - Dr. Professor (Malaysia) |
| Sherzod Turaev | - Dr. Associate Professor (United Arab Emirates) |

Editorial address: 8, Kabanbay Batyr avenue, of.316, Nur-Sultan,
Kazakhstan, 010000
Tel.: (7172) 24-18-52 (ext. 316)
E-mail: natural-sciences@aiu.kz

International Science Reviews NST - 76153**International Science Reviews**

Natural Sciences and Technologies series

Owner: Astana International University

Periodicity: quarterly

Circulation: 500 copies

CONTENT

С.Е.Базаров СИГОВЫЕ (COREGONIDAE) ВИДЫ РЫБ ВОДОХРАНИЛИЩА БУКТЫРМА.....	5
Г.Қ.Тарина АНАЛИЗ СОСТАВА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЛОДИ РЫБ ПО РЕКЕ ЕРТИС.....	11
Ә.Т.Мазақова, Р.В.Яценко, Т.Ж.Мазаков, Ш.А.Джомартова, В.А.Федоренко ЗООЛОГИЧЕСКИЕ НАУЧНЫЕ КОЛЛЕКЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН.....	16
М.Н. Калимолдаев, А.А.Абдилдаева ГЛОБАЛЬНЫЙ МЕТОД АСИМПТОТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ФАЗОВЫХ СИСТЕМ.....	27

СИГОВЫЕ (COREGONIDAE) ВИДЫ РЫБ ВОДОХРАНИЛИЩА БУКТЫРМА

С.Е.Базаров

Алтайский филиал ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства
(г. Усть-Каменогорск ул. Протозанова 83)
e-mail: altay@fishrpc.kz

Аннотация. Дана характеристика трем видам семейства Сиговых (Coregonidae), обитающих на водохранилище Буктырма, приведены данные об этапах акклиматизации, описаны биологические свойства рыб семейства сиговых (пелядь, рипус) как объекта акклиматизации, зарыбления и промысла.

Ключевые слова: акклиматизация, под словом сиговые рыбы: пелядь, рипус ладожский (ряпушка), нельма.

ВВЕДЕНИЕ

Водоохранилище Буктырма образовано в результате перекрытия р. Ертис (1960 г.) в сужении горной долины в 12 км ниже впадения р. Буктырма. Его параметры при сегодняшнем наполнении составляют: площадь – 1660 км², объем – 26,099 км³, протяженность по спрямленному фарватеру – 240 км, глубина – 70 м. Водоохранилище вытянуто в широтном направлении между 83 и 84° восточной долготы и 40° 50' - 49° 40' северной широты. Оно пересекает три климатические зоны: лесостепную, степную и пустынно-степную. Климат этих зон резко континентальный. По морфометрическим и гидрологическим характеристикам водоем разграничивается на три отличающиеся между собой части: озерно-речную, горно-долинную, горную. Горная глубоководная часть включает участок водохранилища от плотины до Нарымского расширения. Она стеснена с северной стороны отрогами Алтайских гор, с южной – Калбинских. Соответственно, рельеф ложа и изрезанность берегов сложные. Водосборная сеть развита, насчитывается около 40 небольших (11-40 км) горных ключей и речек. Исключение составляет р. Буктырма (398 км), обеспечивающая около 40 % годового стока в створе плотины Бухтарминской ГЭС. Заливы, преимущественно, глубоководные, по площади невелики. В целом, литораль в этой части водоема слабо развита, зона глубин до 4-х метровой изобаты составляет 14 %, от 4 до 10 м – 13,5 %. Средняя – горно-долинная часть – пересекает горно-степную и частично пустынно-степную. Ее протяженность, включая Нарымское расширение, до условной границы – Казнаковской переправы, составляет около 105 км, ширина 2-9 км, максимальная глубина – 37 м. Попавшая под затопление долина, по сравнению с горной, не отличается сложностью рельефа, береговая линия мало изрезана. Правый берег, ограниченный Нарымским хребтом, сравнительно крутой, каменистый и

галечниково-песчаный. Левый, прилегающий к отрогам Калбинских гор и пескам Кызыл-Кумов, более пологий, песчаный. Глубины по продольному разрезу изменяются от 37 до 15 м. Зона глубины до 10 м составляет 31 % от общей площади. Окаймляющая водоем растительность, в своем большинстве, ксерофитная, берега открытые. Озерно-речная часть входит в пустынно-степную зону, включает участок водохранилища от мыса Коржун до Казнаковской переправы. В озерно-речной зоне берега отлогие, в районе нижнего Ертиса частично касаются бугристых песков Кызыл-Кумов и отрогов Нарымского хребта. На северо-западе Жайсанской котловины образуется мелководный залив Торангы, площадью до 20 тыс. га. В эту зону впадает полноводная горная река Курчум, которая вместе со впадающей с левого берега рекой Буконь образует Курчум-Буконьские разливы, площадью около 30 тыс. га. На основании Постановления Восточно-Казахстанского областного Акимата №558 от 17.03.2006 г. «О закреплении рыбохозяйственных водоемов (участков) за пользователями по Буктырма, Шульбинскому водохранилищам, реке Ертис (в пределах границы Восточно-Казахстанской области)» по водохранилищу Буктырма закреплено 19 участков.

Сиговые (Coregonidae) – семейство рыб с удлинённым и сжатым с боков телом, покрытым мелкой серебристой чешуей. За спинным плавником имеется небольшой «жировой плавник». Общее количество видов сига более 40 и все они очень трудноразличимы между собой. Сиговые населяют как моря, так и пресные водоемы Евразии и Северной Америки. Представители сиговых искусственно расселены далеко за пределы естественного ареала, где могут образовывать гибриды. Большинство видов имеет важное промысловое значение. Для водоемов Верхне-Ертисского (вдхр. Буктырма) бассейна указывается три формы – пелядь, рипус и нельма. Причем, только нельма является аборигенным видом. Начиная с 60-х годов XX века предпринимались попытки интродукции различных видов сиговых, среди которых не все были натурализованы.

Нельма *Stenodus leucichthys* (Güldenstädt, 1772) – ценная промысловая рыба. По качественным показателям она была одной из лучших и наиболее ценных промысловых рыб Верхнего Иртыша. Сейчас, вследствие гидростроительства, ухудшения условий воспроизводства и браконьерского вылова, численность нельмы значительно сократилась (Кириченко, Куликов, 2011). Бухтармино-жайсанская популяция нельмы внесена в Красную Книгу Республики Казахстан как исчезающая или уже исчезнувшая (Красная Книга РК, 2010).

АККЛИМАТИЗАЦИЯ СИГОВЫХ В ЖАЙСАН-ЕРТИССКИЙ БАССЕЙН.

В период 1959-1985 гг. с целью вселения нового вида и получения дополнительной рыбной продукции вселялись рипус, байкальский омуль, пелядь, сиг, чир (таблица 1).

Мероприятия этого периода имели положительный эффект: сформировано самовоспроизводящееся стадо рипуса, имеющее промысловую ценность. Отрицательной стороной проведения работ является неудача с акклиматизацией

байкальского омуля, невысокая эффективность от зарыбления пелядью (Асылбекова, Куликов, 2016).

В период 1982-1991 гг. предпринята дополнительная попытка вселения рипуса и пеляди с целью увеличения численности. Вселение осуществлялось личинками (177 млн шт. рипуса и 23,1 млн шт. – пеляди). Положительный эффект получен от зарыбления рипусом, практически не было эффекта от вселения пеляди. В 2017 году пелядь единично встречается в уловах, добыча рипуса составляет 50-150 т ежегодно. Как выяснилось впоследствии, при одновременном вселении рипуса и пеляди, они быстро гибридизуются между собой, причем признаки рипуса постепенно вытесняют из генофонда признаки пеляди.

Таблица 1 – Вселение видов рыб семейства Сиговых в водоемы Восточно-Казахстанской области

Виды рыб	Водоем	Годы вселения	Возраст посадочного материала	Объем вселения, шт
Омуль Байкальский	Водохранилище Буктырма	1961-1964	Икра	21 000 000
Омуль Байкальский	Водохранилище Буктырма	1961-1964	Личинки	13 900 000
Рипус	Водохранилище Буктырма	1982-1991	Личинки	177 000 000
Пелядь	Водохранилище Буктырма	1963-1974	Личинки	13 100 000

Биологические свойства рыб семейства сиговых (пелядь, рипус) как объекта акклиматизации и зарыбления. Пелядь, или сырок *Coregonus peled* (Gmelin, 1789). В Бухтарминском водохранилище пелядь вытесняется рипусом, и в настоящее время очень редко встречается в уловах (Куликов, 2007). Причем, в промысловых уловах учет сиговых (пелядь, рипус) ведется совместно и их анализ показывает, что стадо сиговых сосредоточено в глубоководной части водохранилища (Прокопов и др., 2016).

Пелядь обладает высокой экологической пластичностью – наименее требовательна к кислороду и способна выносить высокую температуру. Кроме того, она обладает высоким темпом роста и хорошими вкусовыми качествами. В связи с этим, пелядь чаще всего используют в качестве объекта товарного рыбоводства (Новоселов, Решетников, 1988).

Пелядь – ценный промысловый вид. Еще некоторое время назад ее численность была не велика, но благодаря подходящим биотопам в горной и горно-долиной части Буктарминского водохранилища она все чаще и чаще попадает в сети. Показатели пеляди в 2015 г. представлены особями 2-7 лет при максимальной длине 42 см и массе 930 г. С 2018 года на пелядь стали давать лимит в Буктарминском водохранилище. При максимальной длине тела 47 см достигает массу 1590 г. Полная половозрелость наступает с 4 лет жизни. Максимальный возраст пеляди уловах 8 лет.

Исходным водоемом обитания рипуса является Ладожское озеро, но в водоемы Верхнего Ертиса он попал из Петропавловского рыбопитомника. В настоящее время рипус широко распространен в водохранилищах Верхнего Ертиса, но промысловой численности достигает только в глубоководной части Буктарминского водохранилища. Уловы его составляют 100-150 т ежегодно. Темп роста в водохранилище Буктырма 16-22 см, по длине и с 40 до 115 г по массе (по данным исследований 2016-2019 гг.). Половая зрелость у рипуса начинается с 2 лет и массовая половозрелость начинается с 4 лет жизни. Нерест рипуса происходит поздней осенью. Плодовитость колеблется в широких пределах – от 4,5 до 56 тыс. икринок. Оплодотворенная икра развивается всю зиму 4-5 мес.

Рипус – типичный планктофаг (Дукравец и др., 2010). Пищевой рацион представлен зимой исключительно зоопланктоном, весной в пищевом комке присутствуют мизиды. Обеспеченность пищей рипуса связана с массовым развитием молодых и взрослых форм кормового планктона. Обеспеченность пищей повышается с преобладанием в планктоне более крупных форм копепод и кладоцер из числа доступных для рипуса, а также мизид.

На формирование локальных группировок рипуса в период активного питания влияют условия использования рыбой кормовых организмов. Летом большая часть популяции рипуса находится в горной части (в частности, п. Алтайка, Черемшанский залив), где на показателях биомассы зоопланктона сказывается выедаемость пищевых объектов рипусом. К осени производители рипуса перемещаются в горно-долинную часть (Большенарымский залив) ближе к местам нереста и начинают выедать запасы зоопланктона уже в этой части водоема. Таким образом, планктон является одним из важнейших факторов распределения и продуктивности рипуса (Евсеева, 2011).

Рипус – ценный промысловый вид и важный объект озерно-товарного рыбоводства. Вселение этого вида в Буктарминское водохранилище продолжалось с конца 1970-х и до начала 1990-х годов, в результате чего в глубоководной части водохранилища было создано самовоспроизводящееся стадо. Отсюда рипус проник в Усть-Каменогорское водохранилище, где стал обычным видом. Далее проник в Шульбинское водохранилище, куда также вселялся на стадии личинки в период 1990–1994 гг., а в 2001 г. достиг промысловой численности. В результате плановой, либо стихийной акклиматизации, рипус расселился во многих озерах Восточного Казахстана (Шалкар, Шыбындыкуль, Ак-школа и др.) (Прокопов и др., 2016).

Высокие пищевые качества сиговых (рипуса и пеляди) делают их необходимым объектом аквакультуры. Питаясь зоопланктоном и большую часть года находясь в глубоководной зоне водоемов, рипус и пелядь не конкурируют в питании с молодью других видов рыб и могут выращиваться в глубоких озерах как в моно-, так и в поликультуре с другими видами рыб. Требовательны к кислородному режиму водоемов. Перестают питаться при температуре воды выше 20°C. Наиболее подходящими водоемами для зарыбления рипусом являются Усть-Каменогорское водохранилище и горные озера Уланского, Алтайского, Курчумского и Кокпектинского районов Восточного Казахстана.

Адаптация и изменчивость новых популяций акклиматизированных видов рыб могут привести к повышению интенсивности физиологических процессов, что способствует ускорению темпов роста и созревания, увеличению упитанности особей. Популяция может процветать не только в зоологическом, но и в промышленном отношении. Поэтому необходимо провести изучение промысловых качеств акклиматизированных сиговых в водоемы Верхне-Ертисского бассейна, а также исследование особенностей экологии и 9 морфологических характеристик рипуса и пеляди, натурализовавшихся в основных рыбохозяйственных водоемах Верхнего Ертиса (Бухтарминское, Усть-Каменогорское, Шульбинское водохранилища).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дана характеристика трем видам семейства Сиговых (Coregonidae), обитающих на водохранилище Буктырма, приведены данные об этапах акклиматизации, описаны биологические свойства рыб семейства сиговых (пелядь, рипус) как объекта акклиматизации, зарыбления и промысла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асылбекова С.Ж., Куликов Е.В. 2016. Интродукция рыб и водных беспозвоночных в водоемы Казахстана: результаты и перспективы // Вестник АГТУ. Сер. Рыбное хозяйство. № 3. – С. 16-29.
2. Богуцкая Н.Г., Насека А.М. 2004. Каталог бесчелюстных и рыб пресных и солоноватых вод России с номенклатурными и таксономическими комментариями. М: Товарищество науч. изд. КМК, 389 с.
3. Дукравец Г.М., Мамилов Н.Ш., Митрофанов И.В. 2010. Аннотированный список рыбообразных и рыб Республики Казахстан // Известия НАН РК. Серия биологическая и медицинская. № 3 (279). Алматы: Ғылым. С. 36–48.
4. Евсеева А.А. 2011. Особенности использования кормовой базы рипусом в Бухтарминском водохранилище // Вестник КазНУ. Серия биологическая. №5 (51)– Алматы, КазНУ. – С.56-61.
5. Кириченко О.И., Куликов Е.В. 2011. Предложения по включению ряда редких видов рыб иртышского бассейна в Красную Книгу Республики Казахстан // Вестник КазНУ. Серия биологическая. №4 (50). Алматы: Қазақ университеті. С. 94–93.

6. Корляков К.А. 2014. Натурализация европейской ряпушки *Coregonus albula* в водоемах Южного Урала // Вестник Совета молодых ученых и специалистов Челябинской области . № 2. С. 7-18.
7. Красная книга Республики Казахстан. 2010. Изд. 4-е. Т.1: Животные. Ч.1: Позвоночные. Алматы, 324 с.
8. Куликов Е.В. 2007. Закономерности формирования ихтиофауны Бухтарминского водохранилища и пути оптимизации использования рыбных ресурсов. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тюмень. 23 с.
9. Прокопов К.П. 2016. Рыбы Восточного Казахстана: монография / К.П. Прокопов, Д.А. Тагаев. – Усть-Каменогорск: издательство «Берел» ВКГУ имени С. Аманжолова – 87 с.

АҚ БАЛЫҚ (COREGONIDAE) БҰҚТЫРМА СУ ҚОЙМАЛАРЫНДАҒЫ БАЛЫҚ ТҮРЛЕРІ

Аннотация. Бұқтырма су қоймасында тұратын ақ балық тұқымдасының (*Coregonidae*) үш түріне сипаттама берілген, акклиматизация кезеңдері туралы мәліметтер келтірілген, ақ балық тұқымдас балықтардың (пеляд, рипус) акклиматизация, балық аулау және балық аулау объектісі ретінде биологиялық қасиеттері сипатталған.

Түйінді сөздер: акклиматизация, ақ балық сөзінің астында: пеляд, рипус Ладога (ряпушка), нельма.

Автор жайлы ақпарат: Базаров С. Е., "Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы" ЖШС Алтай филиалы (Өскемен қаласы, Протозанов көшесі, 83), e-mail: altay@fishrpc.kz

WHITEFISH (COREGONIDAE) FISH SPECIES OF BUKTYRMA RESERVOIRS

Annotation. The characteristics of three species of the Whitefish family (*Coregonidae*) inhabiting the Buktyrma reservoir are given, data on the stages of acclimatization are given, the biological properties of whitefish fish (pelage, ripus) are described as an object of acclimatization, stocking and fishing.

Keywords: acclimatization, under the word whitefish: peled, ripus Ladoga (ryapushka), nelma.

Information about the author: Bazarov S.E., Altai branch of LLP "Scientific and production center of fisheries (Ust-Kamenogorsk str. Protozanova 83), e-mail: altay@fishrpc.kz

АНАЛИЗ СОСТАВА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЛОДИ РЫБ ПО РЕКЕ ЕРТИС

Г.К.Тарина

Алтайский филиал ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства (г. Усть-Каменогорск ул. Протозанова 83)
e-mail: tarina.g.k@gmail.com

Аннотация. В статье дан анализ состава и распределения активной молодежи по реке Ертис (в пределах Восточно-Казахстанской области). Сделан вывод о состоянии эффективности воспроизводства для пополнения численности рыб в реке Ертис.

Ключевые слова: река Ертис, станции отбора, Бодене, Семиярка, молодежь, урожайность молодежи.

ВВЕДЕНИЕ

Проведение научных исследований по определению рыбопродуктивности водоемов и разработка рекомендации по рациональному использованию рыбных ресурсов данных водоемов требует комплексных ихтиологических исследований. Анализ состава и распределения активной молодежи – один из показателей определения рыбопродуктивности водного объекта.

Учеты молодежи достаточно адекватно отражают состояние видов в ихтиоценозах, прежде всего - их количественные показатели.

Цель настоящей работы состоит в изучении состава и распределения активной молодежи рыб по реке Ертис. В задачи работы входило:

- определение видового состава и количества видов молодежи в исследуемом водоеме;
- анализ размерных и весовых показателей молодежи.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Молодь рыб отбирали по всем характерным биотопам. Отбор проб молодежи на выбранных станциях проводили мальковым бреднем. Изучение молодежи рыб осуществляли по следующим параметрам:

- видовой состав, число видов;
- стадия развития;
- общая численность молодежи по видам;
- размерные и весовые показатели молодежи;
- распределение ранней молодежи рыб;

Молодь рыб определяли по Коблицкой А.Ф.

Материалы для настоящего исследования были собраны на станциях р. Ертис: Бодене и Семиярка.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Анализ состава и распределения активной молоди рыб по реке Ертис.

Река Ертис – крупнейшая река в Казахстане, левый приток реки Обь и главная водная артерия Ертисского водохозяйственного бассейна.

Река Ертис ниже Усть-Каменогорской ГЭС и до подпора Шульбинского водохранилища имеет протяженность около 90 км. Река на данном участке имеет горно-долинный характер, со средней скоростью течения до 1,5 м/с. Ложе водоема галечниковое.

Река Ертис от УКГЭС до зоны подпора Шульбинского водохранилища имеет небольшое значение в воспроизводстве рыбных запасов Шульбинского водохранилища и практически не имеет самостоятельного значения в формировании биопродукции. Загрязнение реки промстоками, захламленность ложа, наличие здесь городской и промышленной инфраструктуры осложняет ведение рыбного хозяйства, которое возможно лишь на участке ниже п. Глубокое, где имеются протоки, старицы и затоны.

Река Ертис от Шульбинской ГЭС до границы с Павлодарской областью и, следовательно, ниже каскада водохранилищ является наименее измененным морфологически водоемом бассейна. Из-за проведения весенних попусков из Шульбинского водохранилища, значительно изменен ее водный режим. Протяженность реки Ертис от Шульбинской ГЭС до границы Восточно-Казахстанской и Павлодарской областей составляет 280 км. Река Ертис на участке от плотины Шульбинской ГЭС до г. Семей имеет выраженный горно-долинный характер. Русло извилистое, часто разветвлено протоками. Сравнительно спокойное течение в меженный период (0,6-1,0 м/с) чередуется со стремительным, на отдельных перекатах до 2,8-3,0 м/с. В период попусков скорость течения на равнинных участках увеличивается до 1,4-1,5 м/с. На данном участке река Ертис принимает с левого берега последний крупный приток – реку Шар, ниже по течению значительные притоки отсутствуют. По характеру питания река Ертис относится к алтайскому типу водного режима со снежно-дождевым питанием. Питание на 50 % и более снеговое, на 25-30 % дождевое, остальное приходится на грунтовый сток.

На основании результатов предыдущих лет исследований, нами ведутся наблюдения на 2-х характерных станциях (Бодене, Семиярка) (рисунок 1).



Рисунок 1 – Станции наблюдений на реке Ертис (в пределах ВКО)
А – станция Бодене, Б – станция Семиярка

Материалы по урожайности и распределению активной молоди рыб по акватории реки Ертис получены по результатам мальковой съемки. В результате облова мальковым бреднем было зафиксировано 3 вида молоди рыб – плотва, окунь, карась.

Динамика урожайности молоди показана в таблице 1. Максимальная концентрация зафиксирована у плотвы (ст. Бодене) – 1,15 экз./м³ (таблица 2). Минимальная концентрация молоди зафиксирована у карася (ст. Семиярка) – 0,10 экз./м³.

Таблица 1 – Динамика урожайности молоди рыб

Год	Виды рыб, экз./м ³							
	лещ	окунь	плотва	елец	карась	ерш	сазан	щука
2016	-	0,54	0,08	-	-	-	0,01	0,01
2017	2,36	1,18	2,30	3,12	0,98	3,89	-	1,76
2018	-	0,18	1,97	-	-	-	-	-
2019	-	0,22	1,55	-	-	-	-	-
2020		0,41	1,72		0,43			

Таблица 2 – Урожайность молоди рыб р. Ертис и ее пойменных участков

Станции	Показатели	Виды рыб, экз./м ³		
		плотва	окунь	карась
Бодене	урожайность, экз./м ³	1,15	0,15	0,65
	доля по численности, %	63,3	30,7	6
Семиярка	урожайность, экз./м ³	0,7	0,10	-
	доля по численности, %	73,5	26,5	0

По данным таблицы 2, можно сделать вывод о том, что молодь окуня и плотвы встречается в русле реки, а молодь карася приурочена к пойменным участкам.

В таблицах 3-4 представлена размерно-весовая характеристика молоди в р.Ертыс и ее пойменных участков по станциям наблюдений.

Таблица 3 – Размерные и весовые показатели молоди плотвы по станциям

Станции	Показатели				
	Длина, см (мин-макс)	Средняя длина, см	Масса, г (мин-макс)	Средняя масса, г	Кол-во, экз.
Бодене	2,4-6,8	4,3	0,42-2,2	1,3	33
Семиярка	1,3-3,6	2,1	0,19-0,73	0,65	17

Материалы мальковой съемки по станциям наблюдений показывают, что размерные показатели молоди массовых видов рыб практически везде одинаковы, небольшие вариации демонстрируют весовые показатели, так наиболее крупная молодь плотвы отмечена на станции Бодене, а крупная молодь окуня отмечена на станциях Семиярка и Бодене. Молодь карася была зафиксирована на станции Бодене.

Таблица 4 – Размерные и весовые показатели молоди окуня по станциям

Станции	Показатели				
	Длина, см (мин-макс)	Средняя длина, см	Масса, г (мин-макс)	Средняя масса, г	Кол-во, экз.
Бодене	2,8-3,8	3,7	0,61-0,82	0,72	16
Семиярка	2,2-3,13	2,5	0,49-0,75	0,59	6

Молодь карася в научно-исследовательских уловах 2020 года встречалась только на станции Бодене в количестве 3 экземпляров, где средняя длина составила 2,5 см (мин.- 2,1 см, макс. – 2,8 см), при средней массе 0,31 г (мин. - 0,17 г, макс. – 0,41 г).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного анализа и распределения активной молоди в р. Ертыс по данным научно-исследовательских работ за 2020 г., сделан вывод об удовлетворительном состоянии эффестивности воспроизводства для пополнения численности рыб в реке Ертыс.

Осуществление подобной научно-практической деятельности позволит оценить, в определённой степени рыбопродуктивность водоема, а также будет служить одним из элементов рыбопромыслового прогнозирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Коблицкая А.Ф. Определитель молоди пресноводных рыб. - М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1981. - 208 с.
2. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. - М.: Пищевая промышленность, 1966. - 376 с.
3. Кириченко О.И. Состояние естественного воспроизводства рыб реки Иртыш и влияние искусственного паводка на его эффективность. - Актуальные вопросы изучения и охраны животного мира. 2005. - С 299-301

ЕРТІС ӨЗЕНІ БОЙЫНША БАЛЫҚТАРДЫҢ БЕЛСЕНДІ ШАБАҚТАРЫНЫҢ ҚҰРАМЫН ЖӘНЕ ТАРАЛУЫН ТАЛДАУ

Аннотация. Мақалада Ертіс өзені бойынша (ШҚО шегінде) белсенді шабақтардың құрамы мен бөлінуіне талдау жасалды. Ертіс өзеніндегі балық санын толықтыру үшін өсімін молайту тиімділігінің жай-күйі туралы қорытынды жасалды.

Түйінді сөздер: Ертіс өзені, іріктеу станциясы, Бөдене, Семиарка, шабақтар, шабақтардың өнімділігі.

Автор жайлы ақпарат: Тарина Г. Қ. «Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Алтай бөлімшесі (Өскемен қаласы, Протозанов көшесі, 83), e-mail: tarina.g.k@gmail.com

ANALYSIS OF THE COMPOSITION AND DISTRIBUTION OF ACTIVE JUVENILE FISH ALONG THE ERTIS RIVER

Annotation. The article analyzes the composition and distribution of active juveniles along the Ertis River (within the East Kazakhstan region). The conclusion is made about the state of reproduction efficiency to replenish the number of fish in the Ertis River.

Keywords: Ertis river, selection stations, Bodene, Semiyarka, juveniles, yield of juveniles.

Information about the author: Tarina G.K., Altai branch of LLP "Scientific and production center of fisheries (Ust-Kamenogorsk str. Protozanova 83), e-mail: tarina.g.k@gmail.com

ЗООЛОГИЧЕСКИЕ НАУЧНЫЕ КОЛЛЕКЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Ә.Т.Мазақова¹, Р.В.Ященко², Т.Ж.Мазаков¹, Ш.А.Джомартова¹,
В.А.Федоренко²

¹КазНУ имени аль-Фараби

²Институт зоологии

Аннотация. В статье описана разработанная электронная база хранения зоологической коллекции Института Зоологии Министерства Образования и Науки Республики Казахстан. Создание базы и банка данных по государственной научной зоологической коллекции позволит использовать ее в научных, образовательных и прикладных целях, которая будет использована для учета, контроля состояния и долговременного сохранения единой национальной зоологической коллекции и управления ценными зоологическими коллекционными материалами. Государственная зоологическая научная коллекция является важнейшим источником информации для различных направлений биологических исследований. Она является не только основой для проведения научных изысканий по систематике, молекулярной генетики животных, но и документальным подтверждением корректности выполненных фаунистических работ. При решении этой важной в теоретическом и практическом отношении проблемы особую актуальность приобретает инвентаризация образцов видового разнообразия. На основе MySQL разработана электронная база данных с удобным интерфейсом для ввода данных из государственной зоологической коллекции Республики Казахстан. Разработанная ЭБД включает информационно-поисковую систему и обеспечит дальнейшее формирование виртуальной научной зоологической коллекции. Электронная база данных предназначена для зоологов, а также для специалистов других профилей, нуждающихся в зоологической информации.

Ключевые слова: базы данных, биологическая систематика, зоологическая коллекция, интерфейс, СУБД, MySQL, PhpMyAdmin.

ВВЕДЕНИЕ

Современный подход к хранению данных о музейных коллекциях предполагает создание компьютерных баз данных, обеспечивающих стандартизованный ввод информации и быстрый доступ к ней. Наряду с основными сведениями об экземплярах, которые приводятся на этикетке, такие базы могут быть связаны с электронным депозитарием фотографий или трехмерных моделей объектов, обращения к которым во многих случаях достаточно для получения необходимой информации [1-3].

С каждым годом растет доступность и значимость виртуальных зоологических коллекций [4-5].

Требования к зоологическим электронным базам данных сформулированы в работах [6-7]: «Система должна быть пригодна для одновременной работы зоологов разного профиля (специалистов по наземным позвоночным, рыбам, насекомым, паразитическим животным, морским и пресноводным беспозвоночным и т.п.). Особая сложность выполнения этого условия заключается в том, что способы записи данных о местах находок животных, составления этикеток, организации коллекций, описания самих экземпляров и представления обобщенных данных о распространении целых таксонов у специалистов по разным группам отличаются настолько, что создание достаточно универсальных систем является весьма трудной задачей и до сих пор неизвестны примеры ее удовлетворительного решения».

В работах [8-10] приведены термины и их определения для электронных коллекций и библиотек. Рассмотрены вопросы разработки электронных зоологических коллекций и биологических компьютерных диагностических систем, которые рассматриваются как интерактивные информационные системы по работе с коллекционными данными и различными аспектами биологического разнообразия. Описаны международные проекты по созданию коллекционных баз данных и информационных систем [11].

В работе [12] проведен анализ основных принципов и подходов к использованию программно-технических решений и платформ, применение которых возможно при разработке систем управления данными в биологических коллекциях. Сформулированы основные требования к функциональным возможностям программного обеспечения, предназначенного для поддержки баз данных по биологическим ресурсам и являющегося необходимым атрибутом функционирования биологической коллекции высокого организационного уровня. Рассмотрены основные подходы к ограничению доступа к информации о биологических коллекциях в случаях, предусмотренных патентной процедурой и правилами биологической безопасности. Определены особенности разработки систем информационного обеспечения открытых сервисных биологических коллекций.

Создание базы данных по зоологической коллекции в Республике Казахстан является актуальной задачей в рамках Международных («Конвенция о биологическом разнообразии») и Национальных государственных стратегических и программных документах Республики Казахстан («Стратегия развития Республики Казахстан до 2050 года «Казахстан-2050», Гос. программа «Цифровой Казахстан» от 12 декабря 2017 года №827, Гос. программа развития образования и науки Республики Казахстан на 2020-2025 гг., Послание Главы государства «Третья модернизация Казахстана: глобальная конкурентоспособность» от 31 января 2017 года и др.) по сохранению биологического разнообразия и устойчивому развитию и рациональному использованию природных ресурсов. Кроме того, создание национальной зоологической коллекции обеспечит выполнение национального законодательства (Закон РК Об охране, воспроизводстве и использовании животного мира, Экологический кодекс Республики Казахстан) и повысит научно-

технический потенциал государства и его мировой имидж за счет сохранения и развития зоологических коллекционных фондов.

Создание и разработка национальной электронной базы данных по зоологической научной коллекции Республики Казахстан является актуальной задачей, которая призвана повысить качество и доступность коллекционных фондов в научных и образовательных целях, а также обеспечить возможность пополнения коллекции свежими материалами, в том числе создание соответствующего веб-портала для публичного использования.

Разработанная зоологическая база данных будет использована для учета, контроля состояния и долговременного сохранения единой национальной зоологической коллекции и управления ценными зоологическими коллекционными материалами.

Государственная зоологическая научная коллекция является важнейшим источником информации для различных направлений биологических исследований. Она является не только основой для проведения научных изысканий по систематике, молекулярной генетики животных, но и документальным подтверждением корректности выполненных фаунистических работ. При решении этой важной в теоретическом и практическом отношении проблемы особую актуальность приобретает инвентаризация образцов видового разнообразия. В этой связи необходимо оценить современное состояние зоологических научных коллекций Казахстана, хранящихся, главным образом, в коллекционном фонде Института зоологии. В Институте имеется **зоологическая коллекция**, фонд которой составляет более 715 тыс. экз. позвоночных и беспозвоночных животных.

МЕТОДЫ И МОДЕЛИ

Программа была реализована на платформе Visual Studio на языке программирования C# с подключением к базе данных на веб-приложении phpMyAdmin на языке запросов MySQL.

PhpMyAdmin – веб-приложение с открытым кодом, написанное на языке PHP и представляющее собой веб-интерфейс для администрирования СУБД MySQL. PhpMyAdmin позволяет через браузер осуществлять администрирование сервера MySQL, запускать команды SQL и просматривать содержимое таблиц и баз данных. Приложение пользуется большой популярностью у веб-разработчиков, так как позволяет управлять СУБД MySQL без непосредственного ввода SQL команд [13-14].

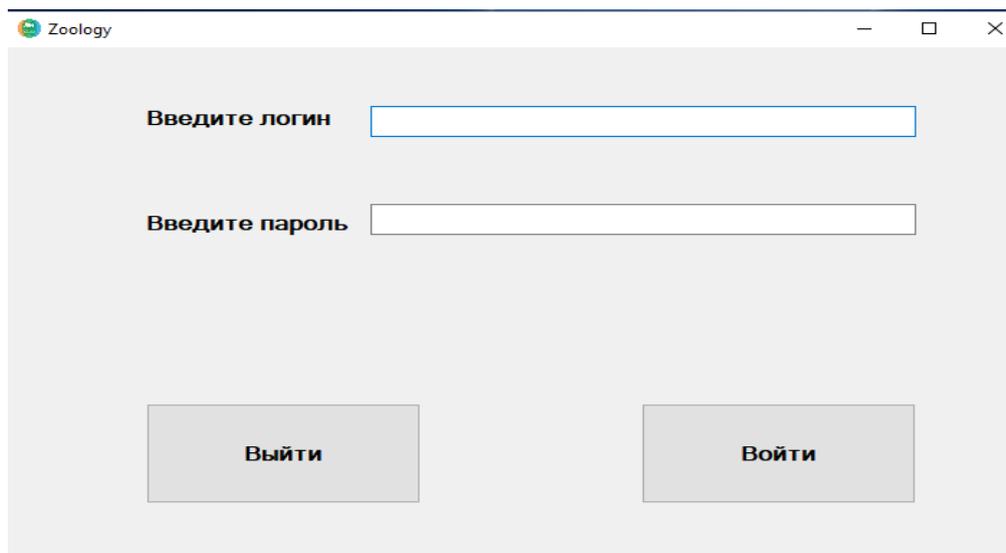
Microsoft Visual Studio – линейка продуктов компании Microsoft, включающих интегрированную среду разработки программного обеспечения и ряд других инструментов. Данные продукты позволяют разрабатывать как консольные приложения, так и игры и приложения с графическим интерфейсом, в том числе с поддержкой технологии Windows Forms, а также веб-сайты, веб-приложения, веб-службы как в родном, так и в управляемом кодах для всех платформ, поддерживаемых Windows, Windows Mobile, Windows CE, .NET Framework, Xbox, Windows Phone .NET Compact Framework и Silverlight [15].

В phpMyAdmin была создана основная база проекта *zoology*, в которой было создано 5 таблиц: *users*, *positions*, *fundament*, *departments*, *classes*. В таблице *users* были созданы поля: фамилия, имя и отчество пользователя, номер отдела, в котором пользователь работает, номер должности, которую он занимает, его логин и пароль, для дальнейшего входа в программу. Таблица *positions* хранит номера и названия должностей и их права на чтение, запись и изменение. Таблица *departments* содержит номера и название отделов, в котором работает пользователь. Это может быть сам администратор, руководство или лаборант. В таблице *classes* расположена основная описательная информация про образцы. Например, царство, вид, род, подвид и т.д. Таблица *fundament* является основной таблицей. В ней содержатся 63 параметров, среди которых есть номера образцов, место его нахождения, в каком виде был найден и как хранится. Также в этой таблице есть поля, которые содержат ссылки для фото и видео.

Создан пользовательский интерфейс для заполнения, поиска, изменения информации, связанная с базой данных. Также есть возможность импортирования данных с Excel файла в базу данных.

Внутренняя база данных зоологической коллекции содержит полный набор сведений по единицам хранения, а ее наполнение контролируется кураторами коллекций.

Для разрешения доступа пользователей и разделения прав доступа к различным функционалам системы в соответствии с пользовательскими полномочиями предусмотрена система, основанная на вводе логина и пароля (Рисунок 1). Для защиты от неправомерных действий пользователей в системе внедрена возможность ведения журнала пользовательских действий.



The image shows a web browser window titled "Zoology". Inside the window, there is a login form. At the top left, there is a small logo and the text "Zoology". Below this, there are two input fields. The first is labeled "Введите логин" (Enter login) and the second is labeled "Введите пароль" (Enter password). Below the input fields, there are two buttons: "Выйти" (Logout) on the left and "Войти" (Login) on the right. The window has standard minimize, maximize, and close buttons in the top right corner.

Рисунок 1. Окно верификации

Система ввода данных обеспечивает возможность включения медиафайлов (изображения - фото животных), аудиофайлы (голоса птиц и т.п.) (рисунок 2). При вводе данных максимально обеспечена возможность выбора информации из

соответствующих список, что обеспечивает корректность набора повторяющейся информации.

Зоология

Файл Справка

Ввод данных

Отделение
Орнитология

Данные образца

Номер помещения:	
Номер стелажа/шкафа:	
Номер коробки/кластера:	
Номер тары/банки:	
Серийный номер/тип тары:	
Номер матрасика:	
Номер стекл. препарата:	
Номер тушки:	
Номер сбора/особи:	
Перемещение в др. орг-ции:	
Коллекция	▼
Принадлежность к организации	▼
Форма хранения:	▼
Фиксирующее вещество:	▼
Тип образца:	▼
Тип сбора (гидробиол.):	▼

Прикрепить фото: Обзор...

Прикрепить видео: Обзор...

Загрузить в БД

Рисунок 2. Окно ввода данных

Для оперативного поиска требуемой информации разработано соответствующее окно (рисунок 3).

Рисунок 3. Окно поиска информации

После нахождения найденная информация предоставляется в виде экранной формы (рисунок 4).

Рисунок 4. Экранная форма представления информации об экспонате

На данное время в базе заполнено более 1000 записей. Программное обеспечение протестировано на этих данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе MySQL разработана электронная база данных с удобным интерфейсом для ввода данных из государственной зоологической коллекции Республики Казахстан. Разработанная ЭБД включает информационно-поисковую систему и обеспечит дальнейшее формирование виртуальной научной зоологической коллекции.

Электронная база данных предназначена для зоологов, а также для специалистов других профилей, нуждающихся в зоологической информации.

Разрабатываемая технология может быть использована (после соответствующей адаптации) для более широкого применения. В частности, они могут быть использованы для построения виртуального музея биологических экспонатов видов, распространенных на территории Казахстана.

Положительный экономический эффект заключается в том, что для получения информации из зоологической коллекции не требуется дорогостоящая аппаратура. Социальный эффект выражается в широте доступности соответствующей информации из ЭБД.

Созданная база данных по зоологической коллекции позволит проводить количественный и качественный анализ таксономического разнообразия и мониторинг беспозвоночных и позвоночных животных Казахстана, а также проводить ревизию видовых определений коллекционных материалов на основе новейших научных достижений в современной зоологической систематике. На основе современного учета и анализа состояния коллекционных фондов можно осуществлять оценку достаточности этих фондов для отражения многообразия животного мира страны и уточнения видовых определений коллекционных материалов в соответствии с современными изменениями в систематике беспозвоночных и позвоночных животных.

Применение специализированных геоинформационных систем (ГИС) позволяют эффективным образом собирать, хранить, обрабатывать и распространять зоологическую информацию, что способствует качественно новому осмыслению экологических процессов. В то же время, возможности геоинформационных технологий в экологических указывают на актуальность проведения исследований в области совершенствования методики создания и направлений применения подобных систем.

Благодарности. Работа выполнена за счет средств программно-целевого финансирования научных исследований на 2021-2022 годы по проекту ИРН OR11465437 «Разработка национального электронного банка данных по научной зоологической коллекции Республики Казахстан, обеспечивающего их эффективное использование в науке и образовании»

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калякин М.В., Волцит О.В., Морковин А.А., Москаленко В.Н. Электронные базы данных зоологического музея МГУ //Труды Кольского научного центра РАН, 2017, с.36-44
2. Лобанов А.Л., Смирнов И.С., Дианов М.Б., Алимов А.Ф., Кирейчук А.Г., Кривохатский В.А. Российские зоологические базы данных в Интернете //Научный сервис в сети Интернет: Труды Всероссийской научной конференции (23-28 сентября 2002г. г. Новороссийск). – М.: Изд-во МГУ, 2002, с.51-53
3. Смирнов И.С., Лобанов А.Л., Дианов М.Б., Голиков А.А., Алимов А.Ф. Зоологические виртуальные музеи: настоящее и будущее// Научный сервис в сети Интернет: Труды Всероссийской научной конференции (24-29 сентября 2001 г., г. Новороссийск). - М.: Изд-во МГУ, 2001. с. 22-24.
4. Zoological Collections of Germany, The Animal Kingdom in its Amazing Plenty at Museums and Universities» (Editors: Beck, Lothar A. (Ed.), 2018, by Springer, ISBN 978-3-319-44321-8)
5. The Avian Collection of the Zoological Museum of the University of Athens (ZMUA) (by Gabriella Papastefanou, Anastasios Legakis, Igor Shogolev, Biodiversity Data Journal, 2016)
6. The Natural History Museum Data Portal (by Ben Scott, Ed Baker, Matt Woodburn, Sarah Vincent, Helen Hardy, and Vincent S Smith, Database (Oxford), 2019, doi: 10.1093/database/baz038).
7. Туркменова А.И. Насекомые базы данных Зоологического музея ИЭРиЖ с территории Башкирии //Материалы по флоре и фауне Республики Башкортостан, 2016, № 13. с.93-105
8. Lobanov A., Sokolov E., Smirnov I. ZOOINT - an integrated system for zoological data bases // ADBIS'94. Proceedings of the International Workshop on Advances in Databases and Information Systems. May 23-26, 1994. Moscow, 1994. P. 270,271.
9. Соколов Е.П., Смирнов И.С., Лобанов А.Л. Интегрированная система ZOOINT для ведения и использования зоологических баз данных // Базы данных и компьютерная графика в зоологических исследованиях, Труды Зоологического института, т. 269, Санкт-Петербург, 1997: 136-144.
10. Смирнов И.С., Алимов А.Ф., Кирейчук А.Г., Воронина Е.П., Лобанов А.Л. Международные проекты по созданию электронных коллекций морских животных: первые результаты //Труды 7-ой Всероссийской научной конференции “Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции” - RCDL'2005, Ярославль, Россия, 2005.
11. Смирнов И.С., Лобанов А.Л., Алимов А.Ф., Кирейчук А.Г., Вахитов А.Т. Электронные зоологические коллекции и технологии электронных библиотек // Труды 8-ой Всероссийской научной конференции

- «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» - RCDL'2006, Суздаль, Россия, 2006.
12. Феклова Т.Ю., Зоологические музеи, коллекции и коллекторы // Историко-биологические исследования. 2010, том 2. № 1, с.121-123
 13. Давыдов Д.С., Кошечкин К.А., Мовсесянц А.А. Основные подходы к управлению данными для администрирования биологических коллекций. БИО препараты. Профилактика, диагностика, лечение. 2017;17(4):216-221.
 14. Мазуркевич А.М., Еловой Д.С. РНР: настольная книга программиста. – М.: Новое знание, 2004. – 479с.
 15. Веллинг Л.Ю., Томсон Л. Разработка веб-приложений с помощью РНР и MySQL. – М.: ООО «И.Д.Вильямс», 2012. – 848 с.
 16. Майо Дж. Самоучитель Microsoft Visual Studio 2010. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 464с.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ЗООЛОГИЯЛЫҚ ҒЫЛЫМИ КОЛЛЕКЦИЯЛАРЫ

Аңдатпа. Мақалада Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі Зоология институтының зоологиялық коллекциясын сақтаудың әзірленген электрондық базасы сипатталған. Мемлекеттік ғылыми зоологиялық коллекция бойынша база мен деректер банкі құру оны ғылыми, білім беру және қолданбалы мақсаттарда пайдалануға мүмкіндік береді, ол бірыңғай ұлттық зоологиялық коллекцияның жай-күйін есепке алу, бақылау және ұзақ уақыт сақтау және бағалы зоологиялық коллекциялық материалдарды басқару үшін пайдаланылатын болады. Мемлекеттік зоологиялық ғылыми жинақ биологиялық зерттеулердің әртүрлі бағыттары үшін маңызды ақпарат көзі болып табылады. Бұл жануарлардың таксономиясы, молекулалық генетикасы бойынша ғылыми зерттеулер жүргізудің негізі ғана емес, сонымен бірге орындалған фаунистік жұмыстардың дұрыстығын құжаттық растау болып табылады. Бұл маңызды мәселені теориялық және практикалық тұрғыдан шешу кезінде түрлердің алуан түрлілігінің үлгілерін түгендеу ерекше өзекті болып табылады. MySQL негізінде Қазақстан Республикасының мемлекеттік зоологиялық коллекциясынан деректерді енгізу үшін ыңғайлы интерфейсі бар электрондық дерекқор әзірленді. Әзірленген ЭБД ақпараттық-іздістіру жүйесін қамтиды және виртуалды ғылыми зоологиялық топтаманың одан әрі қалыптасуын қамтамасыз етеді. Электрондық мәліметтер базасы зоологтарға, сондай-ақ зоологиялық ақпаратты қажет ететін басқа профильдегі мамандарға арналған.

Түйінді сөздер: мәліметтер базасы, биологиялық систематика, зоологиялық жинақ, интерфейс, ДҚБЖ, MySQL, PhpMyAdmin

ZOOLOGICAL SCIENTIFIC COLLECTIONS OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Annotation. The article describes the developed electronic storage database of the zoological collection of the Institute of Zoology of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan. The creation of a database and a data bank on the state scientific zoological collection will allow it to be used for scientific, educational and applied purposes, which will be used for accounting, monitoring the condition and long-term preservation of the unified national zoological collection and management of valuable zoological collection materials. The State Zoological Scientific Collection is the most important source of information for various areas of biological research. It is not only the basis for conducting scientific research on taxonomy, molecular genetics of animals, but also a documentary confirmation of the correctness of faunal works performed. When solving this problem, which is important in theoretical and practical terms, the inventory of species diversity samples becomes particularly relevant. An electronic database with a user-friendly interface for entering data from the State zoological collection of the Republic of Kazakhstan has been developed on the basis of MySQL. The developed EBD includes an information retrieval system and will ensure the further formation of a virtual scientific zoological collection. The electronic database is intended for zoologists, as well as for specialists of other profiles who need zoological information.

Keywords: databases, biological systematics, zoological collection, interface, DBMS, MySQL, phpMyAdmin.

Сведения об авторах

Мазакова Айгерим Талгатовна – докторант PhD КазНУ им. аль-Фараби - aigerym97@mail.ru

Ященко Роман Васильевич – доктор биолог.наук, профессор, генеральный директор Института зоологии МОН РК - roman.jashenko@zool.kz

Мазаков Талагт Жакупович - доктор физ.-мат.наук, профессор КазНУ им. аль-Фараби – tmazakov@mail.ru

Джомартова Шолпан Абдразаковна - доктор технических наук, профессор КазНУ им. аль-Фараби – jomartova@mail.ru

Федоренко Василий Александрович- инженер Института зоологии МОН РК

Авторлар туралы мәліметтер

Мазакова Айгерим Талғатовна-ҚазҰУ PhD докторанты. әл-Фараби - aigerym97@mail.ru

Ященко Роман Васильевич-биолог дәрігер.ғылымдарының докторы, профессор, ҚР БҒМ Зоология институтының бас директоры - roman.jashenko@zool.kz

Мазакөв Талагт Жакупович-физ. - мат докторы. атындағы ҚазҰУ профессоры.
әл-Фараби – tmazakov@mail.ru

Джомартова Шолпан Абдразақовна-техника ғылымдарының докторы, ҚазҰУ
профессоры. әл-Фараби – jomartova@mail.ru

Федоренко Василий Александрович-ҚР БҒМ Зоология институтының
инженері

Information about the authors

Mazakova Aigerim Talgatovna - PhD student of Al-Farabi Kazakh National
University - aigerym97@mail.ru

Yaschenko Roman Vasilyevich - Doctor of Biology.Sciences, Professor, General
Director of the Institute of Zoology of the Ministry of Education and Science of the
Republic of Kazakhstan - roman.jashenko@zool.kz

Mazakov Talagt Zhakupovich - Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor of Al-Farabi Kazakh National University – tmazakov@mail.ru

Sholpan Abdrazakovna Dzhomartova - Doctor of Technical Sciences, Professor of
Al-Farabi Kazakh National University – jomartova@mail.ru

Fedorenko Vasily Alexandrovich - Engineer of the Institute of Zoology of the
Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan

ГЛОБАЛЬНЫЙ МЕТОД АСИМПТОТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ФАЗОВЫХ СИСТЕМ

М.Н. Калимолдаев А.А. Абдилдаева

Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК;
e-mail: mnk@ipic.kz

Аннотация: В статье рассматривается исследование и разработка математической модели сложных электроэнергетических систем для задач глобальной асимптотической устойчивости, описываемых дифференциальными уравнениями, правые стороны которых являются периодическими в угловой координате. Получены условия глобальной асимптотической устойчивости нелинейных систем управления. Приведен пример, иллюстрирующий применение полученных результатов и демонстрирующий процедуры изучения глобальной асимптотической устойчивости энергетических систем. Исследована математическая модель сложных электроэнергетических систем для задач глобальной асимптотической устойчивости, описываемых дифференциальными уравнениями, правые части которых периодичны по угловой координате. Разработан программный комплекс, реализующий различные подходы к построению устойчивости синхронного генератора. Компьютерное моделирование позволяет анализировать степень влияния параметров системы на устойчивость синхронного генератора. В данной статье представлена новая идея как для глобального контроля асимптотической устойчивости, так и для регулирования напряжения. В исследовании получены условия глобальной асимптотической устойчивости нелинейных систем управления. Рассмотрен численный пример, результаты которого показывают, что нет необходимости увеличивать более чем на 4 шага, так как они одинаково сходятся к нулю. Результаты численного примера были получены в виде графиков. Расчеты производились на примере готовых данных.

Ключевые слова: электроэнергетическая система; глобальная асимптотическая стабильность; математическая модель

ВВЕДЕНИЕ

Индустриальное развитие современного общества приводит к постоянному росту потребления электроэнергии [1]. Для удовлетворения этих постоянно растущих потребностей создаются сложные электроэнергетические системы.

В современной электроэнергетике в некоторых странах, с высоким уровнем износа и недостаточной модернизацией оборудования, этот вопрос стоит еще острее [1,14,21]. Помимо необходимости модернизации в электроэнергетике некоторых стран, требуется оценить эффективность использования современного оборудования и условия его нормальной эксплуатации. Процесс создания единой электроэнергетической системы в Казахстане формировался в несколько этапов: от объединения нескольких изолированных электростанций друг с другом для

параллельной работы до формирования территориальной интегрированной электроэнергетической системы крупных промышленных территорий и объединения интегрированной электроэнергетической системы друг с другом для создания единой электроэнергетической системы (ЕЭС) [2,9,11]

Актуальность проблемы поддержания устойчивости в современных сложных многокольцевых энергосистемах постоянно возрастает в связи с повышенной нагрузкой межсистемных секций и внедрением новых агрегатов большой единичной мощности. Нарушение синхронной работы энергосистемы из-за потери устойчивости завершается возникновением асинхронного режима, приводящего к колебаниям режимных параметров вблизи электростанций и значительным скачкам токов. Это крайне негативно сказывается на ресурсе энергетического оборудования энергосистемы.

Электроэнергетические системы (ЭЭС), при нормальной эксплуатации, обеспечивают работу промышленности, транспорта, повседневную жизнь населения. Непрерывно растущая протяженность электроэнергетических систем, увеличение доли генераторов с ухудшенными параметрами в них, наметилась тенденция перевода их в режим потребления реактивной мощности с целью нормализации уровней напряжения в сети усложнили задачу обеспечения стабильности ЭЭС. Все эти негативные факторы вызвали более частые нарушения стабильности ЭЭС, подчеркивая актуальность и практическую значимость решения данной проблемы [1]. Эта проблема привела к совершенствованию методов исследования и углубленному изучению динамических свойств ЭЭС. Для решения этой задачи большое значение имеет разработка высокоэффективных методов численного решения задач глобальной асимптотической устойчивости, оптимальности и обширные вычислительные исследования. Нарушения режима устойчивости ЭЭС могут быть глобальными или локальными по своему характеру, затрагивая различные аспекты режима (синхронная параллельная работа генераторов и синхронных двигателей, стабильность асинхронных двигателей, стабильность частоты, стабильность напряжения).

Нарушение устойчивости связано с достижением критических состояний во взаимном движении объектов, которые выделяются в структурно неоднородной системе. Использование методов расчета режимов, методология которых включает формализованное выявление слабых элементов системы и факторов, влияющих на проявление различных слабых звеньев, является перспективным направлением в снижении размерности задачи изучения устойчивости энергосистем.

Исследования глобальной асимптотической устойчивости сложных энергетических систем связаны с расчетами массы в различных условиях.

Устойчивость и стабилизация движения электроэнергетических систем рассмотрены в [3-6]. Стабильность режима ЭЭС является одной из основ надежности энергосистем и электроснабжения потребителей. Определена стабильная емкость ЭЭС как важнейшая составляющая комплексного свойства надежности ЭЭС

Но глобальная асимптотическая устойчивость сложных электроэнергетических систем с большим количеством генераторов до сих пор остается нерешенной проблемой [16,18,19,20]. Попытки решить проблему глобальной асимптотической устойчивости электроэнергетических систем «стандартными» рассуждениями с использованием «стандартных» функций Ляпунова обычно обречены на провал. В связи с этим долгое время существенно не было прогресса в направлении изучения фазовых систем по второму методу Ляпунова [12,15]. Современная теория устойчивости фазовых систем основана на работах Ю.Н. Бакаев, А.А. Гуж и Г.А. Леонов, С.А. Лебедев, С.А. Ульянов и другие посвящены проблеме устойчивости энергосистем. Их работы содержат фундаментальные основы теории устойчивости энергетических систем с точки зрения критериев и методов, математические модели элементов энергосистем [7,8,10,13].

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Рассмотрим динамическую систему с цилиндрическим фазовым пространством, описываемую дифференциальными уравнениями $(n+2)$ – порядка i -й изолированной подсистемы $Z_i^{n+2}(\delta, S, x)$

$$\frac{d\delta_i}{dt} = S_i, \quad (1)$$

$$\frac{dS_i}{dt} = w_i - K_i S_i - f_i(\delta_i)w_i = C_i^* x_i$$

$$\frac{dx_i}{dt} = A_i x_i + q_i S_i + b_i u_i + R_i(S_i, x_i) \quad (2)$$

где δ_i – угловая координата; S_i – угловая скорость; x_i – вектор состояния контроллера; u_i являются управляющими действиями контроллера; $K_i > 0$ являются коэффициентом демпфирования; $f_i(\delta_i)$, w_i являются постоянными c_i, q_i, b_i, n_i размерными векторами; A_i – постоянная матрица; $R_i(S_i, x_i)$ являются элементами управления типа обратной связи. Символ (*) указывает на операцию транспозиции. Вторыми являются дифференциальные уравнения порядка (1), описывающие процессы в управляемом объекте, а векторное дифференциальное уравнение (2) определяет состояние контроллера i -й изолированной подсистемы. Форма n - мерного вектора функции $f_i(\delta_i)$ задается позже.

Мы просканируем цилиндрическое фазовое пространство вдоль угловой координаты, а затем предположим, что системы (2) и (1) даны в евклидовом пространстве. $Z_i^{n+2}(\delta_i, S_i, x_i)$ $R_i^{n+2}(\delta_i, S_i, x_i)$

Пусть быт - нелинейность в управляемом объекте, является непрерывно дифференцируемой периодической функцией, удовлетворяющей условиям $f_i(\delta_i)$

$$f_i(\delta_i) = f_i(\delta_i + 2\pi), \quad (\forall \delta_i \in R^1), \quad \gamma_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f_i(\delta_i) d\delta_i \leq 0 \quad (3)$$

$$f_i(0) = 0, \quad \left. \frac{df_i(\delta_i)}{d\delta_i} \right|_{\delta_i=0} > 0, \quad f_i(\delta_{0i}) = 0, \quad \left. \frac{df_i(\delta_i)}{d\delta_i} \right|_{\delta_i=\delta_{0i}} < 0,$$

где $\delta_i = 0$ и $\delta_i = \delta_{0i}$ - нули функции на множестве. График функций схематично показан на рис.1. $f_i(\delta_i) [0, 2\pi]$

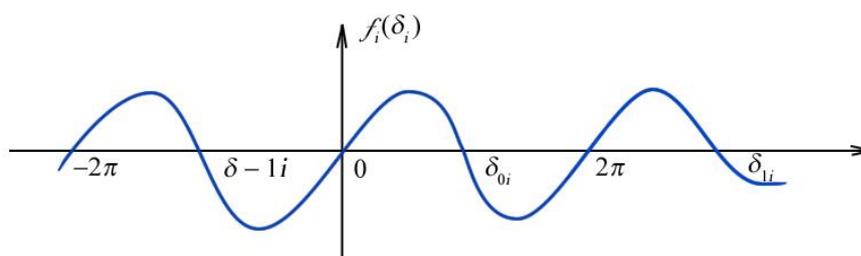


Рисунок 1.

Вводим

$$\Delta_i = \{\delta_i | f_i(\delta_i) = 0\} = \Delta_{1i} \cup \Delta_{2i},$$

$$\Delta_{1i} = \left\{ \delta_i | f_i(\delta_i) = 0, \frac{df_i(\delta_i)}{d\delta_i} > 0 \right\} = \{2K_i\pi\},$$

$$\Delta_{2i} = \left\{ \delta_i | f_i(\delta_i) = 0, \frac{df_i(\delta_i)}{d\delta_i} < 0 \right\} = \{\delta_{Ki}\},$$

Предположим, что система нелинейных алгебраических уравнений для имеет уникальное решение. Затем, при отсутствии управления, стационарное множество i -й изолированной подсистемы (1), (2) состоит из следующего бесконечного счетного множества точек в фазовом пространстве, $\delta_{Ki} = \delta_{0i} + 2K_i\pi$ ($\forall K_i \in Z_i$) $A_i x_i + R_i(s_i, x_i) = 0$ $x_i = 0_n$ $\det A_i \neq 0$ ($u_i = 0$) Λ_i $R_i^{n+2}(\delta_i, s_i, x_i)$

$$\Lambda_i = \{(\delta_i, s_i, x_i) | \delta_i \in \Delta_i, s_i = 0, x_i = 0_n\} = \Lambda_{1i} \cup \Lambda_{2i},$$

$$\Lambda_{1i} = \{(\delta_i, s_i, x_i) | \delta_i \in \Delta_{1i}, s_i = 0, x_i = 0_n\},$$

$$\Lambda_{2i} = \{(\delta_i, s_i, x_i) \mid \delta_i \in \Delta_{2i}, s_i = 0, x_i = 0_{n_i}\}$$

Мы называем систему (1), (2) глобально асимптотически стабильной, если для любого начального условия существует точка, такая, что решение имеет свойство $\hat{z}_i = \{\hat{\delta}_i, \hat{s}_i, \hat{x}_i\}$ $z_{i*} = (\delta_{i*}, 0, 0_n) \in \Lambda_i$ $z_i(t) = z_i(t, \hat{z}_i) = \{\delta_i(t, \hat{z}_i), s_i(t, \hat{z}_i), x_i(t, z_i)\}$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|z_i(t) - z_{i*}\| = 0,$$

то есть любое решение стремится к некоторому равновесное состоянию из множества. Система (1), (2) будет называться моностабильным, если какое-либо ограниченное решение стремится к некоторому равновесное состоянию от $t \rightarrow +\infty$ Λ_i $t \rightarrow +\infty$ Λ

Рассмотрим теперь некоторые свойства подсистемы фазы второго порядка

$$\frac{d\delta_i}{dt} = S_i, \quad \frac{ds_i}{dt} = -D_i S_i - f_i(\delta_i). \quad (4)$$

Стационарное множество системы (4), состоящее из бесконечного счетного множества точек фазовой плоскости, может быть представлено в виде комбинации двух несвязанные подмножества и: M_i $R_i^2(\delta_i, s_i)$ M_{1i} M_{2i}

$$M_i = \{(\delta_i, s_i) \mid f_i(\delta_i) = 0, s_i = 0\} = M_{1i} \cup M_{2i},$$

$$M_{1i} = \{(\delta_i, s_i) \mid \delta_i = 2k_i\pi, s_i = 0 \quad (\forall k_i \in Z_i)\},$$

$$M_{2i} = \{(\delta_i, s_i) \mid \delta_i = \delta_{ki} = \delta_{0i} + 2k_i\pi, s_i = 0 \quad (\forall k_i \in Z_i)\}.$$

т легко проверить, что точки находятся в устойчивых равновесных положениях, а - неустойчивы. Фактически, развернув функцию в степенях и ограничив ее линейным членом разложения, мы получаем систему уравнений первого приближения в точке: $(2K_i\pi, 0) \in M_i$ $(\delta_{K_i}, 0) \in M_{2i}$ $(\forall k_i \in Z_i)$ $f_i(\delta_i)$ $(\delta_i - 2k_i\pi)$ $(2k_i\pi, 0)$

$$\frac{d\delta_i}{dt} = S_i, \quad \frac{ds_i}{dt} = -D_i S_i - \left. \frac{df_i(\delta_i)}{d\delta_i} \right|_{\delta_i = 2K_i\pi}, \quad (\delta_i - 2K_i\pi).$$

Характеристическое уравнение записывается как

$$\lambda_i^2 + D_i \lambda_i + \left. \frac{df_i(\delta_i)}{d\delta_i} \right|_{\delta_i = 2k_i\pi} = 0,$$

где для его корней у нас есть формулы

$$(\lambda_i)_{1,2} = \frac{1}{2}[-D_i \pm \sqrt{D_i^2 - 4 \frac{df_i(\delta_i)}{d\delta_i}}]_{\delta_i = 2k_i\pi}$$

Если, то корни и являются отрицательными вещественным числами, а

специальной точкой является $D_i^2 \geq 4 \frac{df_i(\delta_i)}{d\delta_i} |_{\delta_i = 2k_i\pi}$ $(\lambda_i)_1 (\lambda_i)_2 (2k_i\pi, 0)$ «устойчивый узел».

Когда корни и будут комплексными числами с отрицательными вещественными частями. В этом случае состояние представляет собой особую точку типа «стабильный фокус».

$$D_i^2 < 4 \frac{df_i(\delta_i)}{d\delta_i} |_{\delta_i = 2k_i\pi}$$

$$(\lambda_i)_1 (\lambda_i)_2 (2k_i\pi, 0)$$

Для изучения природы устойчивости в точке составим систему первого приближения $(\delta_{k_i}, 0)$

$$\frac{d\delta_i}{dt} = S_i, \quad \frac{dS_i}{dt} = -D_i S_i - \frac{df_i(\delta_i)}{d\delta_i} |_{\delta=\delta_{k_i}} (\delta_i - \delta_{k_i}), \quad (5)$$

$$\lambda_i^2 + D_i \lambda_i + \frac{df_i(\delta_i)}{d\delta_i} |_{\delta=\delta_{k_i}} = 0,$$

где корни

$$(\lambda_i)_{1,2} = \frac{1}{2} \pm \sqrt{D_i^2 - 4 \frac{df_i(\delta_i)}{d\delta_i}} |_{\delta=\delta_{k_i}} \quad (6)$$

будут вещественными числами различных знаков, т.е. особая точка является «седлом» и соответствует неустойчивому равновесному положению $\delta_{k_i}, 0$

Две интегральные кривые и (сепараторы и система (4) проходят через седловую точку, которые являются касательными к точке интегральных линий системы первого приближения (5) с угловыми коэффициентами и (6) соответственно). $R_{K_i} S_{K_i} R_{K_i}^+ S_{K_i}^+ \delta_{k_i}, 0 \delta_{k_i}, 0 (\lambda_i)_1 (\lambda_i)_2$

Система (4) эквивалентна дифференциальному уравнению первого порядка

$$S_i \frac{dS_i}{dt} + D_i S_i + f_i(\delta_i) = 0, \quad (7)$$

где δ_i – критическое (бифуркационное) значение, вся фазовая плоскость делится интегральными кривыми на полосы – области притяжения соответствующих равновесных положений, т. е. подсистема (4) становится глобально асимптотически устойчивой. Более того, интегральные кривые подсистемы (4) соответствуют непрерывно дифференцируемым функциям, определенным вообще и удовлетворяющим следующим условиям: $D_i > (D_i)_{cr}(D_i)_{cr} R_i^2(\delta_i, S_i) S_{k_i} (\forall K_i \in Z_i) S_{k_i} (\forall K_i \in Z_i) S_{k_i}(\delta_i) \delta_i \in R_i^1$

$$S_{k_i} \frac{dS_{k_i}(\delta_i)}{d\delta_i} + D_i S_{k_i}(\delta) + f_i(\delta_i) = 0, \quad (\forall \delta_i \in R_i^1), \quad (8)$$

$$S_{k_i}(\delta_{k_i}) = 0, \quad (9)$$

$$\lim_{\delta_i \rightarrow -\infty} k_i(\delta_i) = +\infty, \quad \lim_{\delta_i \rightarrow +\infty} S_{k_i}(\delta_i) = -\infty, \quad (10)$$

$$S_{k_i-l_i}(\delta_i) = S_{k_i}(\delta_i + 2l_i\pi) \quad (\forall \delta_i \in R_i^1, \forall l_i \in Z_i) \quad (11)$$

Для подсистемы (4) не имеют предельных циклов первого рода, т.е. замкнутых траекторий в фазовой плоскости. Рассмотрим теперь общую модель многомерных фазовых систем: $D_i > 0 R_i^2(\delta_i, S_i)$

$$\frac{d\delta_i}{dt} = S_i,$$

$$\frac{dS_i}{dt} = (W_i - K_i S_i - f_i(\delta_i)) - \psi_i(\delta_{i*}), \quad W_i = C_i^* x_i, \quad (12)$$

$$\frac{dx_i}{dt} = A_i x_i + q_i S_i + b_i u_i + R_i(S_i, x_i), \quad i = \overline{1, l}, \quad (13)$$

где функция

$$\psi_i(\delta_{i*}) = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^l P_{ik}(\delta_{ik}), \quad \delta_{ik} = \delta_i - \delta_k, \quad (14)$$

определяет взаимосвязь между подсистемами и является заданной непрерывно дифференцируемой периодической функцией. $P_{ik}(\delta_{ik})$

Система вида (12)-(14) включает в себя электроэнергетические системы с несколькими генераторами, где функция определяет взаимодействие i -го генератора с другими генераторами в системе. $\psi_i(\delta_{i*})$

Системы (12), (13) могут быть переписаны в векторно-матричном виде:

$$\frac{d\delta}{dt} = S,$$

$$\frac{dS}{dt} = (W - KS - f(\delta)) - \psi(\delta), \quad W = C^*x, \quad (15)$$

$$\frac{dx}{dt} = Ax + qS + bu + R(S, x), \quad i = \overline{1, l}, \quad (16)$$

Здесь

$$\delta = \text{colon}(\delta_1, \dots, \delta_l), \quad S = \text{colon}(S_1, \dots, S_l), \quad x = \text{colon}(x_1, \dots, x_l),$$

$$u = \text{colon}(u_1, \dots, u_l), \quad f(\delta) = \text{colon}(f_1(\delta_1), \dots, f_l(\delta_l)),$$

$$\psi(\delta) = \text{colon}(\psi_1(\delta_1), \dots, \psi_l(\delta_l)), \quad W = \text{colon}(W_1, \dots, W_l),$$

$$R(S, x) = \text{colon}(R_1, \dots, R_l), \quad K = \text{diag}\{b_1, \dots, b_l\},$$

$$q = \text{colon}(q_1, \dots, q_l), \quad b = \text{diag}\{b_1, \dots, b_l\},$$

$$C = \text{diag}\{C_1, \dots, C_l\}, \quad A = \text{diag}\{A_1, \dots, A_l\},$$

Стационарное множество связанной системы (15)-(16) определяется как множество \bar{L}

$$\bar{L} = \{(\delta, S, x) \mid f(\delta) + \psi(\delta) = 0, \quad x = 0_{n_l}, \quad S = 0_l\}. \quad (17)$$

Здесь точка (17) также является стационарной точкой, а ближайшие к ней стационарные точки слева и справа определяются как $0_l, 0_l, 0_{n_l} Z_0$

$$Z_{-1} = (\bar{\delta}_{-1}, 0_l, 0_{n_l}), \quad Z_1 = (\bar{\delta}_1, 0_l, 0_{n_l}), \quad (18)$$

$$(\bar{\delta}_{-1})_i = \max_{\delta_i \in \bar{\Delta}_i \cap (-\infty, 0)} \delta_i, \quad (\bar{\delta}_1)_i = \min_{\delta_i \in \bar{\Delta}_i \cap (0, +\infty)} \delta_i,$$

$$\bar{\Delta} = \{\delta \mid f(\delta) + \psi(\delta) = 0\}, \quad \bar{\Delta} = \text{colon}(\bar{\Delta}_1, \dots, \bar{\Delta}_l).$$

Теорема 1. *Линейная однородная система с постоянными коэффициентами асимптотически стабильна тогда и только тогда, когда все собственные значения λ_i имеют отрицательные вещественные части: $\text{Re}[\lambda_i] < 0$ ($i = 1, 2, \dots, n$).*

Рассмотрим нелинейную автономную систему $X \dot{f}(X)$. Предположим, что система имеет нулевое решение $X=0$, которое мы будем изучать на устойчивость.

Постановка задачи изучения глобальной асимптотической устойчивости нелинейных систем управления в электроэнергетических системах

Традиционным подходом к изучению устойчивости сложных электроэнергетических систем является математическое моделирование режимов работы сложной энергосистемы.

Нарушение устойчивости связано с достижением критических состояний во взаимном движении объектов, которые выделяются в структурно неоднородной системе. Использование методов расчета режимов, методология которых включает формализованное выявление слабых элементов системы и факторов, влияющих на проявление различных слабых звеньев, является перспективным направлением в снижении размерности проблемы изучения устойчивости энергосистем.

Рассмотрим глобальную асимптотическую стабильность связанной системы со многими угловыми координатами в случае, если

$$R_i(S_i, x_i) = e_i \phi_i(\sigma_i), \sigma_i = g_i^* x_i + \gamma_i S_i, i = \overline{1, l}, \quad (19)$$

где g_i, e_i, n_i, γ_i - константы, векторы, скалярная константа. В этом случае система (1)-(3) принимает вид:

$$\frac{d\delta_i}{dt} = S_i, \quad \frac{dS_i}{dt} = w_i - K_i S_i - f_i(\delta_i) - \psi_i(\delta_i^*), w_i = C_i^* x_i, \quad (20)$$

$$\frac{dx_i}{dt} = A_i x_i + q_i S_i + b_i u_i + e_i \phi_i(\sigma_i), i = \overline{1, l} \quad (21)$$

или в виде векторной матрицы

$$\frac{d\delta}{dt} = S, \quad \frac{dS}{dt} = w - KS - f(\delta) - \psi(\delta_*), w = C^* x, \quad (22)$$

$$\frac{dx}{dt} = Ax + qS + bu + e\phi(\sigma), \sigma = g^* x + \gamma S, \quad (23)$$

где $e = \text{colon}(e_1, \dots, e_l), \gamma = \text{colon}(\gamma_1, \dots, \gamma_l), g = \text{diag}\{g_1, \dots, g_l\}$.

Характеристики нелинейных элементов - непрерывные функции, удовлетворяющие условиям $\phi_{i_i}(\sigma_i)$

$$0 \leq \phi_{i_i}(\sigma_i) \sigma_i \leq \rho_i \sigma_i^2, \phi_i(0) = 0, i = \overline{1, l}$$

$$(\forall \sigma_i \in (0, +\infty), \forall \sigma_i \in R_i^1).$$

Если для функции существуют неравенства следующей $\phi_{i_i}(\sigma_i)$ формы:

$$\rho_{1i}\sigma_i^2 \leq \phi_{i_i}(\sigma_i)\sigma_i \leq \rho_{2i}\sigma_i^2, (\rho_{1i}\sigma_i^2, \rho_{2i}\sigma_i^2 \in (-\infty, +\infty), \forall \sigma_i \in R_i^1),$$

затем после замены мы придем к рассматриваемым делу; в то же время. Дифференциальное уравнение (21) переписано как $\bar{\phi}_i = \phi_i - \rho_{1i}\sigma_i$ $\rho_i = \rho_{2i} - \rho_{1i}$

$$\frac{dx_i}{dt} = \bar{A}_i x_i + \bar{q}_i S_i + b_i u_i + e_i \bar{\phi}_i(\sigma_i), i = \overline{1, l},$$

где и нелинейность удовлетворяет условию $\bar{A}_i = A_i + \rho_{1i} e_i g_i^*$, $\bar{q}_i = q_i + \rho_{1i} \gamma_i \bar{\phi}_i(\sigma_i)$

$$0 \leq \phi_i(\sigma_i)\sigma_i \leq (\rho_{2i} - \rho_{1i})\sigma_i^2, (\rho_{2i} - \rho_{1i} = \rho_i \in (0, +\infty), \forall \sigma_i \in R_i^1).$$

Ограничение (9) эквивалентно неравенству

$$\phi_i(\sigma_i) \left(\sigma_i - \rho_i^{-1} \phi_i(\sigma_i) \right) \geq 0, (\rho_i \in (0, +\infty), \forall \sigma_i \in R_i^1), i = \overline{1, l}.$$

Функция

$$\psi_i(\sigma_i) = \int_0^{\sigma_i} \phi_i(\lambda) d\lambda, \quad i = \overline{1, l}$$

— положительная полуопределённая функция.

Теорема 2. Пусть будут скаляры такие, что $D_i, \tau_i > 0$

Система фаз второго порядка

$$\frac{d\delta_i}{dt} = S_i, \quad \frac{dS_i}{dt} = -D_i S_i - f_i(\delta_i).$$

глобально асимптотически стабилен (т.е.). $D_i > (D_i)_{cr}$

\tilde{A}_i — матрица Гурвица.

() — полностью наблюдаемая пара. \tilde{A}_i, G_i

() — полностью управляемая пара. \tilde{A}_i, Q_i

$$\bar{\Gamma}_i > 0, \det [2\bar{\Gamma}_i - \chi_i^* h_i^* \tilde{D}_i^{-1} h_i \chi_i] \neq 0 (i = \overline{1, l}).$$

$$\Gamma_i + \operatorname{Re} W_i(j\omega) \geq 0 (\forall \omega \in (-\infty, +\infty)), L_i \geq 0, \tilde{D}_i > 0.$$

Затем контроль

$$u_i = a_i^* x_i + \theta_i S_i + \bar{\varepsilon}_i \phi_i(\delta_i) + \frac{S_i \psi_i(\delta_i^*)}{x_i^* h_i b_i} \quad y \quad z_i \in \Sigma_i$$

$$u_i \neq -(b_i^* H_i b_i)^{-1} (b_i^* H_i A_i x_i + b_i^* H_i q_i S_i + b_i^* H_i e_i \phi_i(\sigma_i)) \quad y z_i \notin \Sigma_i, i = \overline{1, l}$$

обеспечивает глобальную асимптотическую стабильность системы (22), (23).

Теорема 3. Пусть будут скаляры такие, что $D_i, \tau_i > 0, \tau_{1i} > 0$

1) Фазовая система второго порядка (4) глобально асимптотически стабильна (т.е.), $D_i > (D_i)_{cr}$

2) — матрица Гурвица. \tilde{A}_i

3) (u — полностью наблюдаемая пара, $\tilde{A}_i, \tilde{g}_i^*$) (\tilde{A}_i, \tilde{g}_i)

4) (u — полностью контролируемая пара, \tilde{A}_i, Q_i

$$\bar{\Gamma}_i + \operatorname{Re} W_i(j\omega) - \tau_{1i} \bar{K}_i^2 [\chi_i(j\omega)]^2 \geq 0 \quad (\forall \omega \in (-\infty, +\infty))$$

5) $L_i \geq 0, \tilde{D}_i > 0, \bar{\Gamma}_i > 0, \det [2\bar{\Gamma}_i - \chi_i^* h_i^* \tilde{D}_i^{-1} h_i \chi_i] \neq 0, i = \overline{1, l}$

Затем контроль

$$u_i = a_i^* x_i + \theta_i S_i + \bar{\varepsilon}_i \phi_i(\sigma_i) + \varepsilon_{2i} v_i(\eta_i) + \frac{s_i \psi_i(\delta_i^*)}{x_i^* H_i b_i} \quad y \quad z_i \in \Sigma_i$$

$$u_i \neq -(b_i^* H_i b_i)^{-1} (b_i^* H_i A_i x_i + b_i^* H_i q_i S_i + b_i^* H_i e_i \phi_i(\sigma_i) + b_i^* H_i \bar{\varepsilon}_i v_i(\eta_i))$$

$$y z_i \notin \Sigma_i, i = \overline{1, l}$$

обеспечивает глобальную асимптотическую стабильность системы (22), (23)

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Рассмотрим пример электроэнергетики при (два синхронных генератора).

$$\ell = 2$$

Начальные условия:

$$\delta_{10} = 1.34; \quad \delta_{20} = 0.84;$$

$$S_{10} = 0.0; \quad S_{20} = 0.0;$$

$$x_{10} = 0.001; \quad x_{20} = 0.001;$$

Все условия теоремы 2 проверены.

$$\frac{d\delta}{dt} = S, \quad \frac{dS}{dt} = w - KS - f(\delta) - \psi(\delta_*), \quad w = C^*x,$$

$$\frac{dx}{dt} = Ax + qS + bu + e\phi(\sigma), \quad \sigma = g^*x + \gamma S,$$

Для получения численных решений мы используем методы Эйлера и Рунге-Кутты 4-го порядка.

Результаты численного решения показаны на рисунках (3) - (6).

Для более точных результатов мы используем 4-й порядок методов Адамса-Башфорда (А-В), Адамса-Моултона (А-М) и Рунге-Кутте (R-K).

Метод Адамса-Башфорда:

$$y_{n+4} = y_{n+3} + \frac{h}{24}(55f(t_{n+3}, y_{n+3}) - 59f(t_{n+2}, y_{n+2}) + 37f(t_{n+1}, y_{n+1}) - 9f(t_n, y_n)), \quad \frac{251}{720}h^5(\eta).$$

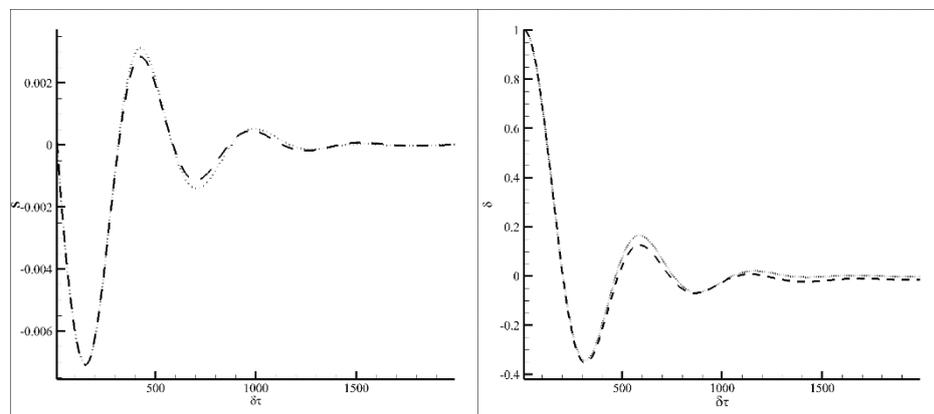
Метод Адамса-Моултона:

$$y_{n+4} = y_{n+3} + \frac{h}{24}(9f(t_{n+4}, y_{n+4}) + 19f(t_{n+3}, y_{n+3}) - 5f(t_{n+2}, y_{n+2}) + f(t_{n+1}, y_{n+1})), \quad -\frac{19}{720}h^5(\eta).$$

Метод Рунге-Кутте:

$$y_{n+1} = y_n + \frac{h}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4),$$

Сравнение используемых методов показано ниже:

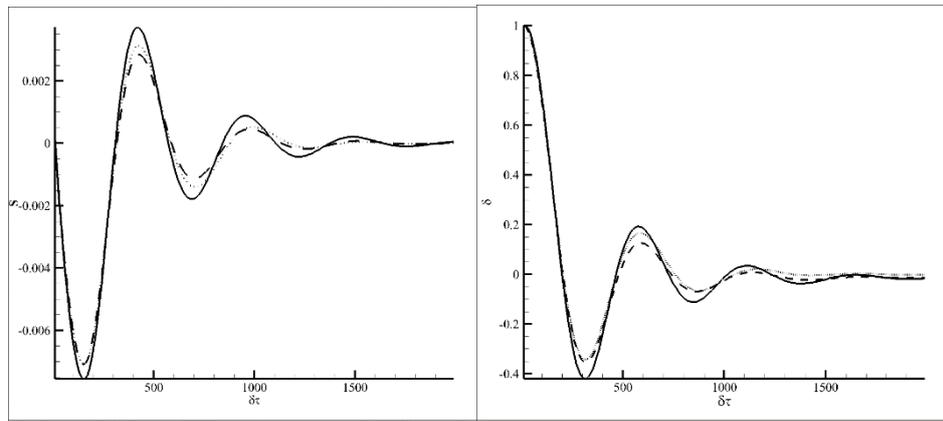


a)

b)

Рисунок 3.- Метод А-В (линия - - -), А-М ((линейный) метод 4-го порядка ···

а) S изменение во времени; б) изменение во времени δ

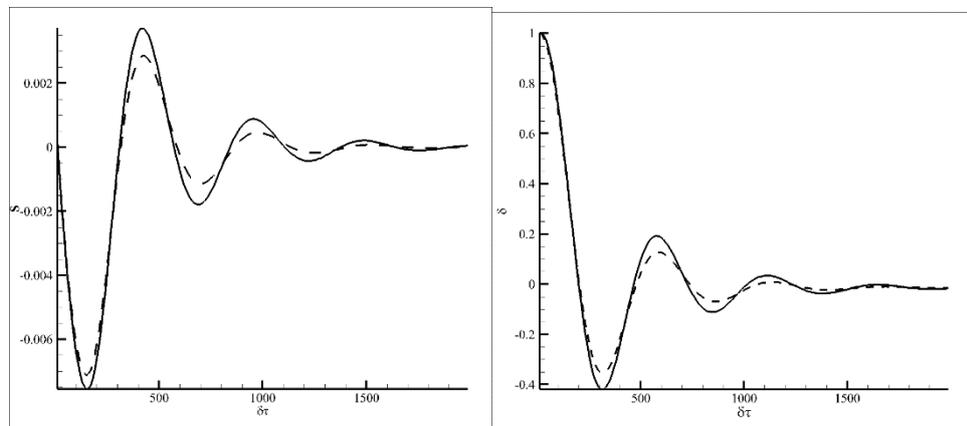


а)

б)

Рисунок 4. - Метод А-В (линия - -), А-М (линия) и Метод Эйлера (линия ···) 4-го порядка ···

S изменение во времени; б) изменение во времени δ

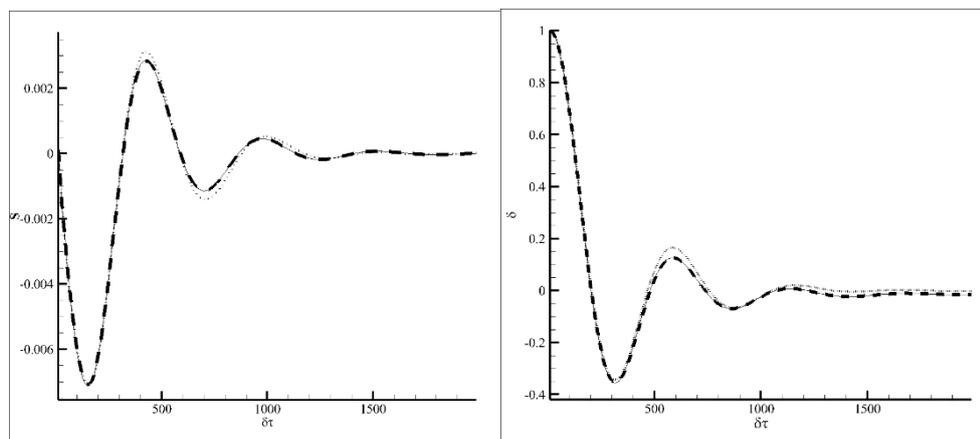


а)

б)

Рисунок 5. – Методы R-K (линия - -) и Эйлера (линия -) 4-го порядка

а) изменение во времени δ ; б) изменение во времени S



а)

б)

Рисунок 6. –метод А-В (линия - -), метод А-М (линия) и R-К (линия -) 4-го порядка ...

а) изменение во времени δ ; б) изменение во времени S

Из полученных результатов видно, что не стоит увеличивать на порядок больше 4, так как они одинаково сходятся к нулю. Исследование показало, что использование методов Адамса-Башфорда и Рунге-Кутте более эффективно, так как они сходятся к нулю быстрее, чем при использовании метода Адамса-Моултона. Это позволит сэкономить время и ускорить процесс выявления чрезвычайных ситуаций.

Проведен детальный анализ проблемы с определением и обнаружением входной и выходной информации. Проводились два вида испытаний: функциональные и структурные. Во время функционального тестирования программы программа ведет себя в соответствии со своей внешней спецификацией. В ходе структурного тестирования программы была проверена логика программы. Программные продукты изначально создавались для решения специфических задач сложных электроэнергетических систем. Затем они были объединены в единый набор программ. При создании программного продукта использовались методы Адамса-Башфорда, Рунге-Кутте 4-го порядка и методы Адамса-Моултона. На рисунке (7) показан интерфейс программного пакета. Представлены различные подходы к построению угловых характеристик глобальной асимптотической устойчивости синхронных генераторов.

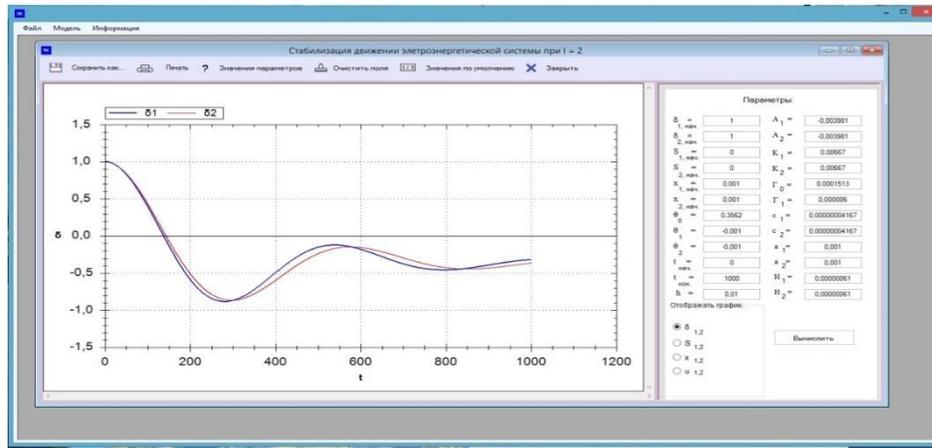


Рисунок 7. Введение числовых данных для выбранного метода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучена математическая модель сложных электроэнергетических систем для задач глобальной асимптотической устойчивости, описываемых дифференциальными уравнениями, правые части которых являются периодическими по угловым координатам. Разработан программный комплекс, реализующий различные подходы к построению стабильности синхронного генератора. Компьютерное моделирование позволяет проанализировать степень влияния параметров системы на стабильность синхронного генератора.

В этой статье представлена новая идея как для глобального контроля асимптотической устойчивости, так и для регулирования напряжения. В исследовании получены условия глобальной асимптотической устойчивости нелинейных систем управления. Рассмотрен численный пример, результаты которого показывают, что нет необходимости увеличивать более чем на 4 шага, так как они одинаково сходятся к нулю. Результаты численного примера были получены в виде графиков. Расчеты производились на примере готовых данных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моделирование и оценка электроэнергетики Казахстана // Журнал энергетики Казахстана. – 2015. – Т.3. – С.18-23.
2. Темиргалиева Н. и Джунусова М., 2020. Производство возобновляемой электроэнергии и устойчивость национальных и региональных энергосистем Казахстана. *Silk Road: A Journal of Eurasian Development*, 2(1), pp.35–53.
3. Бияров Ю.Н., Калимолдаев М.Н. Глобальная асимптотическая устойчивость многомерных фазовых систем с нелинейным контроллером // В кол.: Обратные задачи динамики и их приложения. – Алма-Ата: Публ.дом КазГУ, 1986. – С. 12-17.

4. Калимолдаев М.Н. Устойчивость и математическое моделирование нелинейных многомерных фазовых систем: дисс. ... док. физ.-мат. с. - 13.05.16. – Бишкек, 2000, С.293.
5. Максат Н. Калимолдаев, Мувашархан Т. Дженалиев, Асель А. Абдильдаева и Лейла С. Копбосын Об оптимальности одной энергосистемы // Труды конференции АИП 1611, 194 (2014); doi: 10.1063/1.4893830 // <http://dx.doi.org/10.1063/1.4893830>: 17.08.2014.
6. М. Калимолдаев, М. Дженалиев, А. Абдильдаева, Лейла Копбосын. Проблемы оптимального управления нелинейными системами // ICINCO - 12-я Международная конференция по информатике в управлении, автоматизации и робототехнике. – Кольмар, Эльзас, Франция, 2015. – С. 184-189.
7. Бакаев Ю.Н., Гуж А.А. Оптимальный прием сигналов частотной модуляции в условиях эффекта Доплера, Радиотехника и электроника, 1965, В.10, No1, с.175-196.
8. Гелиг А.Кх., Леонов Г.А., Якубович В.А. Устойчивость нелинейных систем с неуникального равновесного состояния. – М.: Наука, 1978. – С.400.
9. Максат К., Асель А., Тамара З., Тураев С. Исследование интернета вещей (IoT) в электроэнергетических системах (2019) Новости Национальной академии наук Республики Казахстан, Серия геологии и технических наук, 5 (437), с. 144-150.
10. Chiang, H., & Alberto, L. (2015). Области устойчивости нелинейных динамических систем: теория, оценка и приложения (стр. 452-466). Кембридж: Издательство Кембриджского университета
11. Калимолдаев М., Дрозденко А., Коплык И., Маринич Т., Абдильдаева А., Жукабаева Т. Анализ современных подходов к прогнозированию потребления электрической энергии (2020) Open Engineering, 10 (1), с. 350-361.
12. H. Liu, Z. Hu and Y. Song, "Lyapunov-Based Decentralized Excitation Control for Global Asymptotic Stability and Voltage Regulation of Multi-Machine Power Systems," in IEEE Transactions on Power Systems, vol. 27, no. 4, pp. 2262-2270
13. Casagrande, D., Astolfi, A., Langarica, D., Ortega, R. Решение проблемы стабильности переходных процессов с несколькими машинами и смоделированная валидация в реалистичных сценариях (2014) IET Generation, Transmission and Distribution, 8 (8), pp. 1392-1405
14. Максат К., Асель А., Тамара З., Тураев С. Исследование интернета вещей (IoT) в электроэнергетических системах (2019) Новости Национальной академии наук Республики Казахстан, Серия геологии и технических наук, 5 (437), с. 144-150
15. K. Emami, T. Fernando, H.H.C. Lu, H. Trinh, K.P. Wong, "Particle Filter Approach to Dynamic State Estimation of Generators in Power Systems," IEEE Trans. on Power Syst., vol. 30, no. 5, pp. 2665–2675, 2015

16. M. Anghel, F. Milano and A. Papachristodoulou, "Algorithmic Construction of Lyapunov Functions for Power System Stability Analysis", in IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 60, no. 9, pp. 2533-2546, Sept. 2013, doi:10.1109/TCSI.2013.2246233
17. H. Liu, J. Su, J. Qi, N. Wang and C. Li, "Decentralized Voltage and Power Control of Multi-Machine Power Systems With Global Asymptotic Stability", in IEEE Access, vol. 7, pp. 14273-14282, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2893409.
18. Arghir, C., Jouini, T., Dörfler, F. Управление формированием сети для преобразователей мощности на основе согласования синхронных машин (2018) Automatica, 95, стр. 273-282
19. Марценюк, В.; Карпинский, М.; Раджаба, С.; Никодем, Ж.; Варвас, К.; Веклав, Л.; Gancarczyk, T. Глобальная асимптотическая стабильность и нелинейный анализ модели квадратного массива иммунопикселей на основе дифференциальных уравнений задержки решетки. Симметрия 2020, 12, 40
20. Rtibi, H., Elloumi, S., Benhadj Braiek, N. Разработка децентрализованного нелинейного контроллера для класса неопределенных полиномиальных взаимосвязанных систем: Применение для крупномасштабной энергосистемы (2019) Труды Института измерения и управления, 41 (8), стр. 2236-2249.
21. Y. Guo, D.J. Hill, Y. Wang, "Global transient stability and voltage regulation for power systems," IEEE Trans. Power Syst., vol. 16, no. 4, pp. 678–688, 2001.

ФАЗАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ АСИМПТОТИКАЛЫҚ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫНЫҢ ҒАЛАМДЫҚ ӘДІСІ

Аннотация: Мақалада оң жақтары бұрыштық координатта мерзімді болатын дифференциалдық теңдеулермен сипатталған жаһандық асимптотикалық тұрақтылық есептері үшін күрделі электр энергетикалық жүйелердің математикалық моделін зерттеу және дамыту қарастырылған. Сызықтық емес басқару жүйелерінің жаһандық асимптотикалық тұрақтылығының шарттары алынды. Алынған нәтижелердің қолданылуын суреттейтін және энергетикалық жүйелердің Ғаламдық асимптотикалық тұрақтылығын зерттеу процедураларын көрсететін мысал келтірілген. Дифференциалдық теңдеулермен сипатталған жаһандық асимптотикалық тұрақтылық есептеріне арналған күрделі электр энергетикалық жүйелердің математикалық моделі зерттелді, олардың оң бөліктері бұрыштық координатта мерзімді болады. Синхронды генератордың тұрақтылығын құрудың әртүрлі тәсілдерін жүзеге асыратын бағдарламалық кешен жасалды. Компьютерлік модельдеу жүйе параметрлерінің синхронды генератордың тұрақтылығына әсер ету дәрежесін талдауға мүмкіндік береді. Бұл мақалада асимптотикалық тұрақтылықты жаһандық бақылау үшін де, кернеуді реттеу үшін де жаңа идея ұсынылған. Зерттеу сызықтық емес басқару жүйелерінің Ғаламдық асимптотикалық тұрақтылығының шарттарын алды. Сандық мысал қарастырылады, оның нәтижелері 4 қадамнан артық көбейтудің қажеті жоқ екенін көрсетеді, өйткені олар нөлге тең болады. Сандық мысалдың нәтижелері графиктер түрінде алынды. Есептеулер дайын мәліметтер мысалында жүргізілді.

Түйінді сөздер: Электр энергетикасы жүйесі; жаһандық асимптотикалық тұрақтылық; математикалық модель

Автор жайлы ақпарат: М. Н. Қалимолдаев, А. А. Әбділдаева, ҚР БҒМ ҒК ақпараттық және есептеу технологиялары институты; mnk@ipic.kz

GLOBAL METHOD OF ASYMPTOTIC STABILITY OF PHASE SYSTEMS

Abstract: The article deals with the study and development of a mathematical model of complex electric power systems for problems of global asymptotic stability described by differential equations, the right sides of which are periodic in angular coordinate. The conditions of global asymptotic stability of nonlinear control systems are obtained. An example is given illustrating the application of the obtained results and demonstrating the procedures for studying the global asymptotic stability of energy systems. A mathematical model of complex electric power systems for problems of global asymptotic stability described by differential equations, the right parts of which are periodic in angular coordinate, is investigated. A software package has been developed that implements various approaches to building the stability of a synchronous generator. Computer modeling allows analyzing the degree of influence of system parameters on the stability of a synchronous generator. This article presents a new idea for both global control of asymptotic stability and voltage regulation. The conditions of global asymptotic stability of nonlinear control systems are obtained in the study. A numerical example is considered, the results of which show that there is no need to increase by more than 4 steps, since they converge equally to zero. The results of the numerical example were obtained in the form of graphs. Calculations were made using the example of ready-made data.

Keywords: electric power system; global asymptotic stability; mathematical model

Information about the author: M.N. Kalimoldayev, A.A. Abdildayeva, Institute of Information and Computing Technologies of the KN MES RK; mnk@ipic.kz