



ВОСТОЧНО ЕВРОПЕЙСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

DOI: 10.31618/ESSA.2782-1994.2022.1.77

#1(77), 2022 часть 1

Восточно Европейский научный журнал
(Санкт-Петербург, Россия)
Журнал зарегистрирован и издается в России
В журнале публикуются статьи по всем
научным направлениям.
Журнал издается на русском, английском и
польском языках.

Статьи принимаются до 30 числа каждого
месяца.

Периодичность: 12 номеров в год.

Формат - A4, цветная печать

Все статьи рецензируются

Бесплатный доступ к электронной версии
журнала.

Редакционная коллегия

Главный редактор - Адам Барчук

Миколай Вишневецки

Шимон Анджеевский

Доминик Маковски

Павел Левандовски

Ученый совет

Адам Новицки (Варшавский университет)

Михал Адамчик (Институт
международных отношений)

Питер Коэн (Принстонский университет)

Матеуш Яблоньски (Краковский
технологический университет имени
Тадеуша Костюшко)

Петр Михалак (Варшавский университет)

Ежи Чарнецкий (Ягеллонский университет)

Колуб Френнен (Тюбингенский
университет)

Бартош Высоцкий (Институт
международных отношений)

Патрик О'Коннелл (Париж IV Сорбонна)

Мацей Качмарчик (Варшавский
университет)

#1(77), 2022 part 1

Eastern European Scientific Journal
(St. Petersburg, Russia)
The journal is registered and published in Russia
The journal publishes articles on all scientific
areas.
The journal is published in Russian, English
and Polish.

Articles are accepted till the 30th day of each
month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Free access to the electronic version of journal

Editorial

Editor-in-chief - Adam Barczuk

Mikolaj Wisniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Pawel Lewandowski

Scientific council

Adam Nowicki (University of Warsaw)

Michal Adamczyk (Institute of International
Relations)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jablonski (Tadeusz Kosciuszko
Cracow University of Technology)

Piotr Michalak (University of Warsaw)

Jerzy Czarnecki (Jagiellonian University)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Institute of International
Relations)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (University of Warsaw)

Давид Ковалик (Краковский технологический университет им. Тадеуша Костюшко)

Питер Кларквуд (Университетский колледж Лондона)

Игорь Дзедзич (Польская академия наук)

Александр Климек (Польская академия наук)

Александр Роговский (Ягеллонский университет)

Кехан Шрайнер (Еврейский университет)

Бартош Мазуркевич (Краковский технологический университет им. Тадеуша Костюшко)

Энтони Маверик (Университет Бар-Илан)

Миколай Жуковский (Варшавский университет)

Матеуш Маршалек (Ягеллонский университет)

Шимон Матысяк (Польская академия наук)

Михал Невядомский (Институт международных отношений)

Главный редактор - Адам Барчук

1000 экземпляров.

Отпечатано в ООО «Логика+»

198320, Санкт-Петербург,

Город Красное Село,

ул. Геологическая,

д. 44, к. 1, литера А

«Восточно Европейский Научный Журнал»

Электронная почта: info@eesa-journal.com,

<https://eesa-journal.com/>

Dawid Kowalik (Kracow University of Technology named Tadeusz Kościuszko)

Peter Clarkwood (University College London)

Igor Dzedzic (Polish Academy of Sciences)

Alexander Klimek (Polish Academy of Sciences)

Alexander Rogowski (Jagiellonian University)

Kehan Schreiner (Hebrew University)

Bartosz Mazurkiewicz (Tadeusz Kościuszko Cracow University of Technology)

Anthony Maverick (Bar-Ilan University)

Mikołaj Żukowski (University of Warsaw)

Mateusz Marszałek (Jagiellonian University)

Szymon Matysiak (Polish Academy of Sciences)

Michał Niewiadomski (Institute of International Relations)

Editor in chief - Adam Barczuk

1000 copies.

Printed by Logika + LLC

198320, Region: St. Petersburg,

Locality: Krasnoe Selo Town,

Geologicheskaya 44 Street,

Building 1, Litera A

"East European Scientific Journal"

Email: info@eesa-journal.com,

<https://eesa-journal.com/>

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Азизов Т.Н., Орлова О.М. К РАСЧЕТУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОРТОТРОПНЫХ ПЛИТ	4
Kabarukhin A.P. CONCEPTS, APPLICATIONS AND CHALLENGES OF USING THE INTERNET OF THINGS	7
Сорокина М.О., Голубев О.В., УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ВИРТУАЛЬНОЙ СЦЕПКИ ПОЕЗДОВ	12
Клюев О.В., Логвинова В.О. СИНТЕЗ ИДЕНТИФИКАТОРА УГЛА ПОВОРОТА РОТОРА В СИСТЕМЕ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ	17
Малогоулко Ю.В., Ластивка В.Б. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ	22
Маркелов М.М. МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖАДНОГО АЛГОРИТМА	25
Плетнев А.В. ОРГАНИЗАЦИЯ РАЗГРАНИЧЕНИЯ ДОСТУПА ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ К ФУНКЦИОНАЛУ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ.	28
Шестов А.В. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ КОЖ С УЛУЧШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ, УСТОЙЧИВЫХ К ВОЗДЕЙСТВИЮ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ	35

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Шукюрова Г., Маммедова Дж. СЛАБОЕ РЕШЕНИЕ СМЕШАННОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ПОЛУЛИНЕЙНЫХ ПСЕВДОГИПЕРБОЛИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКА С НЕГЛАДКИМ КОЭФФИЦИЕНТОМ	41
---	----

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 624.012.45

Azizov T.N.

*Doctor of technical science, professor,
Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University
Ukraine, 20300, Uman, Sadova, 2.*

Orlova O.M.

*Candidate of technical science
Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University
Ukraine, 20300, Uman, Sadova, 2*

REINFORCED CONCRETE ORTHOTROPIC SLABS CALCULATION

Азизов Талят Нурединович

*доктор технических наук, профессор
Уманский государственный педагогический университет имени Павла Тычины
Украина, 20300, г. Умань, ул. Садовая, 2*

Орлова Ольга Михайловна

*кандидат технических наук
Уманский государственный педагогический университет имени Павла Тычины
Украина, 20300, г. Умань, ул. Садовая, 2*

К РАСЧЕТУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОРТОТРОПНЫХ ПЛИТ

DOI: [10.31618/ESSA.2782-1994.2022.1.77.226](https://doi.org/10.31618/ESSA.2782-1994.2022.1.77.226)

Summary. The formula for determining the coefficient that allows to determine the torsional stiffness of the rods is suggested. In this case, the system of perpendicular beams becomes equivalent to a solid slab. Verification of the formula in the numerical implementation of the technique in software complexes shows almost complete coincidence of the deflections of the system of intersecting beams with the deflections of the solid slab. It is important to conclude that when calculating an orthotropic plate with the help of a rod approximation, it is sufficient to determine the bending stiffness of the rods of both directions, and to take the torsional stiffness equal to these bending stiffness. In the future, it is assumed to check the accuracy of determining the deflections with a local change in the stiffness of the rods on a small section of the slab.

Аннотация. В статье выведена формула для определения крутильной жесткости стержней, с помощью которых ортотропная плита аппроксимирована системой балок, пересекающихся в перпендикулярном направлении. Показано, что независимо от отношения ширины сечения аппроксимирующих стержней к его высоте при определении крутильной жесткости в куб возводится именно толщина плиты. При использовании предложенной методики перемещения в стержневой системе практически полностью совпадают с перемещениями сплошной плиты. Показан способ учета образования трещин при расчете железобетонных плит путем изменения изгибной и крутильной жесткостей стержней, которыми аппроксимирована плита.

Keywords: *orthotropic slab, rod approximation, torsional rigidity, crack*

Ключевые слова: *ортотропная плита, стержневая аппроксимация, крутильная жесткость, трещина.*

Анализ исследований и постановка задачи.

Известно, что учет пространственной работы железобетонных перекрытий повышает точность определения усилий, действующих в элементах перекрытия, и тем самым обеспечивает существенную экономию материалов. Традиционное проектирование не учитывает пространственную работу и взаимодействие отдельных элементов сборных и монолитных перекрытий при действии неравномерных вертикальных нагрузок. Важной является также проблема учета пространственной работы в оценке резервов несущей способности и жесткости при обследовании железобетонных перекрытий. Поэтому в настоящее время перекрытия рассчитывают в различных программных

комплексах Ansys, Scad, Lira и др., когда автоматически учитывается пространственная работа перекрытия. При этом в программных комплексах, как правило, используется теория тонких плит.

При достаточно высоких возможностях этих программных комплексов [5], недостатком их использования является факт, что инженер не может «вмешаться» в программу, когда исследователю нужно внести изменения в нелинейные свойства материалов, которые не заложены в программном комплексе, когда надо изменять жесткость в результате трещинообразования на основании каких-либо своих исследований и т.д. Кроме того, расчет плит производится, как правило, как изотропных

структур, хотя после образования трещин железобетонную плиту нельзя рассматривать как изотропную.

Известно представление тонкой плиты в виде перекрестно-стержневой системы [2, 6]. Однако, в работе [6] приняты стержни, воспринимающие только изгиб и не воспринимающие кручение, что ограничивает применение этой методики к расчету перекрытий. В работе [1] показано, что при расчете железобетонных перекрытий с учетом трещинообразования удобно пользоваться методом стержневой аппроксимации. Это связано с фактом, что влияние различных трещин как на изгибную, так и на крутильную жесткости железобетонных стержневых элементов изучено достаточно полно. Определение крутильной жесткости стержней, аппроксимирующих работу плиты, в этой работе приведено приближенно на основе расчетов в программных комплексах. В этой работе предложено ширину сечения стержней, аппроксимирующих работу плиты, принимать равной двум толщинами плиты и корректировать крутильную жесткость при другом шаге стержней. Однако, теоретического обоснования такой предпосылки не сделано. Кроме того, такое представление жесткости стержней справедливо для конкретного значения коэффициента Пуассона и не учитывает влияние этого коэффициента на определение крутильной жесткости аппроксимирующих стержней. В работе [4] также приведена приближенная аппроксимация плиты в виде стержневой системы. Однако, крутильная жесткость стержней, аппроксимирующих сплошную плиту, принята приближенно, о чем сказано в этой работе.

В связи с вышесказанным целью настоящей статьи является разработка метода расчета ортотропных плит с помощью стержневой аппроксимации с выводом формул, определяющих крутильную жесткость аппроксимирующих стержней.

Изложение основного материала.

Рассмотрим изгибаемую прямоугольную пластину со сторонами, параллельными осям X и Y . Известное дифференциальное уравнение изгиба ортотропной плиты имеет вид [3]:

$$D_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + D_2 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + 2 \cdot D_3 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} = q(x, y), \quad (1)$$

где D_1, D_2 – цилиндрическая жесткость плиты соответственно в направлении горизонтальной X и вертикальной Y осей. D_3 – так называемая главная жесткость пластины. Выражения для жесткостей выглядят:

$$D_1 = \frac{E_1 h^3}{12(1-\nu_1 \nu_2)}; D_2 = \frac{E_2 h^3}{12(1-\nu_1 \nu_2)} \quad (2)$$

$$D_3 = D_1 \nu_2 + 2D_t; D_t = \frac{G \cdot h^3}{12} \quad (3)$$

В выражениях (2) и (3) обозначено: E_1, E_2 – модули упругости в направлении соответственно

осей X и Y ; ν_1, ν_2 – коэффициенты Пуассона, характеризующий сокращение в направлении оси Y при растяжении в направлении оси X ; ν_2 – соответственно в направлении оси Y ; h – толщина пластины; G – модуль сдвига.

Первое и второе слагаемые уравнения (1) выражают перемещения плиты от действия моментов соответственно M_x и M_y (где X и Y – координаты вдоль сторон l_1 и l_2 прямоугольной плиты). Третье слагаемое уравнения (1) выражает перемещение плиты от действия крутящих моментов M_{xy} и M_{yx} , которые.

Представим плиту в виде перекрестно-стержневой системы со стержнями, расположенными параллельно осям X и Y с шагом, равным единице. Тогда ширина каждого стержня, аппроксимирующего работу плиты будет равна единице, а толщина – равна толщине плиты.

Изгибная жесткость каждого стержня в вертикальной плоскости равна:

$$B_x = E_{b,x} \frac{(b_1=1) \cdot h^3}{12}; B_y = E_{b,y} \frac{(b_2=1) \cdot h^3}{12}, \quad (4)$$

где $E_{b,x}, E_{b,y}$ – модули упругости балок одного и второго направлений, которые не равны модулям упругости плиты E_1 и E_2 . Формулы (4) справедливы и для конечной ширины сечения аппроксимирующих балок.

Из теории плит известно, что жесткость плиты по сравнению с жесткостью балки больше, т.к. цилиндрическая жесткость D выражается формулой (2), из которой видно, что жесткость плиты на величину $1/(1-\nu_1 \nu_2)$ больше.

Учитывая это, величину модулей упругости аппроксимирующих балок следует принять равными:

$$E_{b,x} = \frac{E_1}{1-\nu_1 \nu_2}; E_{b,y} = \frac{E_2}{1-\nu_1 \nu_2} \quad (5)$$

Крутильная жесткость стержня прямоугольного сечения определяется по известной формуле из теории кручения [8]:

$$B_t = G \cdot b \cdot h^3 \cdot \beta \quad (6)$$

где b – большая сторона прямоугольного сечения, h – меньшая его сторона; G – модуль сдвига; β – коэффициент, зависящий от соотношения сторон b/h .

Для аппроксимации работы плиты стержневой системой будем считать, что шаг стержней как одного, так и перпендикулярного направления аппроксимирующей системы (ширина сечения стержня) больше высоты сечения, как это принято в теории плит [7]. Поэтому для приведения стержневой системы к эквивалентной плите для стержней обоих направлений в формуле (6) следует обязательно принимать предпосылку, что условно $b > h$, не зависимо от шага балок, в том числе и в случае, когда $b=1$.

Обозначим через B_{tx} крутильную жесткость стержней, параллельных оси X и B_{ty} –

соответственно по оси Y. Для того, чтобы перекрестно-стержневая система стала эквивалентной ортотропной плите, должно соблюдаться условие:

$$B_{t,x} + B_{t,y} = 2 \cdot D_3 \quad (7)$$

где D_3 – главная жесткость (см. выражения 1 и 3). Это равенство приводит в соответствие крутильные жесткости стержневой системы и плиты, т.к. в (1) третий член отвечает за перемещения в плите от действия крутящих моментов M_{yx} и M_{xy} .

Подставляя в равенство (7) выражение (6) при $b=1$, величину D_1 из (2) и учитывая, что $E=2 \cdot G \cdot (1+\nu)$, после необходимых простых преобразований получим выражение для величины β , при котором перекрестно-стержневая система будет эквивалентной сплошной плите:

$$\beta = \frac{1}{6} + \frac{E_1 \nu_2}{12 \cdot G \cdot (1 - \nu_1 \nu_2)} \quad (8)$$

В случае изотропной плиты, когда $B_{tx}=B_{ty}$, $\nu_1=\nu_2=\nu$, $E_1=E_2$, легко получить:

$$\beta = \frac{1}{6(1-\nu)} \quad (9)$$

Коэффициент β для обоих направлений принят одинаковым, т.к. модуль сдвига G является общим для всей плиты. Величина β , определенная по (8) или (9), может применяться при любом шаге как продольных, так и поперечных стержней, т.е. при любом значении b , причем и при разном шаге балок в продольном и поперечном направлении. Так, например, если шаг балок в одном направлении равен b , а в другом a , то крутильные жесткости в этих направлениях будут определяться по формулам:

$$B_{t,x} = G \cdot b \cdot h^3 \cdot \beta; B_{t,y} = G \cdot a \cdot h^3 \cdot \beta \quad (10)$$

Причем β обязательно должно определяться по (8) или (9).

Используя вышеприведенные формулы, легко проверить, что для условия эквивалентности перекрестно-стержневой системы и изотропной плиты должно соблюдаться равенство изгибной B и крутильной V_t жесткостей аппроксимирующих стержней в каждом направлении, т.е. $V_x=B_{tx}$; $V_y=B_{ty}$.

Из сказанного выше и проведенных численных исследований следует важный вывод. При расчете ортотропной плиты с помощью стержневой аппроксимации достаточно определить изгибные жесткости стержней одного и другого направлений по формулам (4) (при этом подставляются реальные ширины сечения аппроксимирующих стержней), а крутильные жесткости принять равными этим изгибным жесткостям в соответствующем направлении.

Выведенные значения величин β выгодно отличается от методики [3]. Главное отличие

состоит в том, что величина β в (8) и (9) получена из условия, что при любом отношении b/h (или a/h) в формулах (6) и (10) в третьей степени всегда должна быть толщина плиты. В работе же [3] фигурирует крутильная жесткость стержней без оговорок, приведенной нами выше. Это приводит к ошибкам в случае $b < h$ (или $a < h$).

В работе [7] показан способ расчета перекрестно-стержневой системы с использованием дифференциального уравнения ортотропной плиты. Т.е. там, в отличие от приведенного в настоящей статье, наоборот, стержневая система приводится к сплошной ортотропной плите. Однако, в работе [7] не сделана обязательная оговорка о том, что не зависимо от отношения ширины и высоты сечения стержней, в третьей степени должна быть толщина плиты.

Численные исследования с использованием программных комплексов показали, что аппроксимация плиты перекрестно-стержневой системой по вышеприведенной методике хорошо описывает работу изотропной плиты. Ошибка находится в пределах допустимых инженерных расчетов.

Применение методики возможно также при сгущении сетки стержней в какой-либо локальной области плиты. Т.е. в одних зонах сетка стержней может быть одной, в других зонах отличаться. При этом правило определения изгибной и равной ей крутильной жесткости остается неизменным.

Учет трещинообразования проводится в стержневой схеме достаточно просто. Если при определенной нагрузке в стержнях появляются трещины, то изгибные и крутильные жесткости этих стержней изменяются по методике [2] и используются эквивалентные жесткости. Далее, на следующей итерации принимаются новые жесткости стержней и расчет повторяется. В отличие от моделирования работы железобетонной плиты плоскими конечными элементами, когда при образовании трещин в одном направлении изменяется жесткость всего элемента в обоих направлениях, в данном случае жесткость в каждом направлении может быть разной, что влияет на точность расчета.

Выводы и перспективы исследования. Для расчета сплошной ортотропной плиты с помощью аппроксимации системой из перекрестных стержней, расположенных во взаимно перпендикулярных направлениях, выведена формула для коэффициента, позволяющего определять крутильную жесткость стержней, при которых перекрестно-стержневая система становится эквивалентной сплошной плите. Проверка формулы при численной реализации методики в программных комплексах показывает практически полное совпадение прогибов плиты, аппроксимированной системой перекрестных стержней, с прогибами сплошной плиты. Значения крутящих моментов совпадают с меньшей точностью.

Из разработанной в статье методики вытекает важный практический вывод о том, что при расчете ортотропной плиты с помощью стержневой аппроксимации достаточно определить изгибные жесткости стержней одного и другого направлений по формулам (4), причем подставив конкретную ширину сечения балок, а крутильные жесткости принять равными этим изгибным жесткостям в соответствующем направлении

Использование стержневой аппроксимации позволяет значительно проще учитывать образование трещин в железобетонных плитах.

В перспективе предполагается проверка точности определения прогибов при локальном изменении жесткостей стержней на небольшом участке плиты.

Список литературы

1. Азизов Т.Н. Расчет железобетонных плит методом стержневой аппроксимации // Sciences of

Europe. – 2019. – Vol 1, № 45. – С. 3-7.

2. Азизов Т.Н. Теория пространственной работы переркытий. – К.: Науковий світ, 2001. – 276 с.

3. Вайнберг Д.В., Вайнберг Е.Д. Расчет пластин. – К.: Будівельник, 1970 – 435 с.

4. Гастев А.В., Китовер К.А. К определению упругих характеристик ребристых пластин // Строительная механика и расчет сооружений. - № 6, 1961.

5. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. – К., 2007. – 394 с.

6. Ржаницын А.Р. Строительная механика: Учеб. пособие для вузов. – М., 1982. – 400 с.

7. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. Пер. с англ. М.: Наука, 1966. – 635 с.

8. Феодосьев В.И. Соппротивление материалов. М.: Наука, 1986. – 514 с.

Kabarukhin A.P.

*Nexign, JSC, Russia, Moscow,
Senior DevOps Engineer*

CONCEPTS, APPLICATIONS AND CHALLENGES OF USING THE INTERNET OF THINGS

Кабарухин Алексей Павлович

*Акционерное общество "Нэксайн", Россия, Москва,
старший инженер сопровождения разработки*

КОНЦЕПЦИИ, ПРИЛОЖЕНИЯ И ЗАДАЧИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

DOI: 10.31618/ESSA.2782-1994.2022.1.77.227

Abstract. The article examines the concept of using the Internet of Things from the historical, semantic, value, performance and perspective sides. Graphically presented the principle of the Internet of Things and the objectives of its application in various fields of activity. A SWOT analysis of the concept of using the Internet of Things in modern smart cities is developed. In the most general sense, the Internet of Things is not a real worldwide network, but the concept of a network of those very "things," that is, physical and virtual objects that are connected to the Internet and the outside world. They are able to transmit the data they receive to each other in order to perform various actions based on it. However, it is not only manufacturers of "smart" equipment that are involved in the development of the concept. For the Internet of Things to function properly, many components need to work together, including communication systems, sensors, software, and technology platforms that connect devices and allow them to "see" and "understand" each other. Particular attention is paid to the comparison of Russian and international experience of using the Internet of Things and examples of its practical application (in the format of digital (applications) and real activities). Conclusions are made about the promising directions of development of the analyzed concept in the form of a smart city.

Аннотация. В статье рассмотрена концепция использования интернета вещей с исторической, смысловой, ценностной, результативной и перспективной сторон. Графически представлен принцип работы интернета вещей и задач его применения в различных сферах деятельности. Разработан SWOT-анализ концепции использования Интернета Вещей в современных умных городах. В самом общем смысле Интернет вещей — это не настоящая всемирная сеть, а концепция сети из тех самых «вещей», то есть физических и виртуальных объектов, которые связаны с интернетом и внешним миром. Они способны передавать друг другу получаемые данные, чтобы выполнять на их основе различные действия. При этом развитием концепции занимаются далеко не только производители «умной» техники. Для нормального функционирования Интернета вещей нужна слаженная работа множества компонентов, включая системы связи, датчики, программное обеспечение и технологичные платформы, которые объединяют устройства и позволяют им «видеть» и «понимать» друг друга. Отдельное внимание уделено сравнению Российского и международного опыта использования интернета вещей и примеров его практического применения (в формате цифровой (приложений) и реальной деятельности). Сделаны выводы о перспективных направлениях развития анализируемой концепции в форме умного города.

Key words: Internet of things, IoT, concept

Ключевые слова. Интернет вещей, IoT, концепция

The introduction of computer technology, the availability, volume, and speed of information processing are becoming decisive in the development of the country's productive forces, science, culture, social institutions, and all spheres of human activity. Information and big data today are seen as leading resources that must be properly organized and secure so that they can be used easily and without fear for the safety of personal data. The main ideas of the modern scientific vector of information technology are based on the concept that all data must be organized in an information base, in order to adequately reflect the changing real world and meet the information needs of users.

The expression "Internet of Things" (Internet of Things or IoT) was first used by American researcher Kevin Ashton. Speaking to the management of Procter&Gamble, he talked about how the logistics within the company would change after the mass introduction of radio-frequency tags [1]. But only a few years have passed, and the Internet of Things has evolved from a business concept into an everyday reality accessible to everyone.

In the late 2000s, the IPSO Alliance organization emerged. It is aimed at the development and

implementation of solutions related to the Internet of Things. In 2011, the research company Gartner included the IoT in the list of the most promising emerging technologies. And in 2012 the whole world started talking about IoT [2].

The concept of the modern Internet of Things lies in the analysis of "things" that are connected to the Internet to exchange data with other things - applications, connected devices, industrial machines and more. Devices connected to the Internet use embedded sensors to collect data and, in some cases, act on it. IoT-connected devices and machines can improve the way we work and live. Examples of applications of the Internet of Things range from a smart home that automatically adjusts heating and lighting to a smart factory that monitors industrial machines to look for problems and then automatically adjusts to avoid failures [3]. Speaking of the specifics of how the system functions, let's note:

First, the Internet of Things is a ubiquitous communication infrastructure today.

Secondly, the global identification of each object.

Thirdly, the ability of each object to send and receive data through a personal network or the Internet to which it is connected (Figure 1).

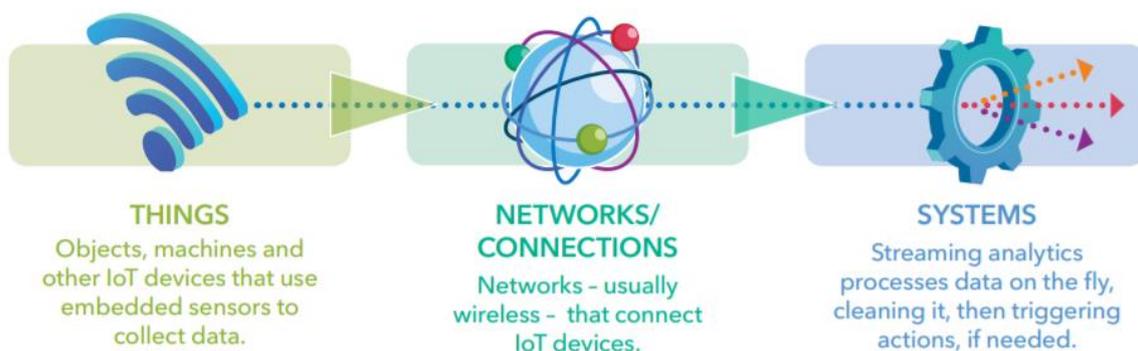


Figure 1 - How the Internet of Things Works

Many industries are using the IoT to understand consumer needs in real time, improve agility, instantly improve the quality of machines and systems, optimize operations, and find innovative ways to work within their digital transformation efforts (Figure 2). IDC provides a list of industries that are currently investing the most in IoT. In first place are all types of industrial production and mining (with a share of about 30

percent). They are followed by transportation and infrastructure.

A survey of the largest German companies found that companies expect that within five years, investments in Internet technology can increase efficiency by an average of 18% and reduce costs by 14% [4].



Figure 2 - Challenges of IoT applications in various fields

Innovation in products, services, business model and content, as well as customer engagement platforms, is a priority in the development of IoT-based technologies. Over the next three years, companies will also use the IoT in projects related to digital development, customer experience improvements, improved operational platforms and transformation of the back-office function. The main challenge in IoT implementation is not so much the transition to new technology and IT solutions, but rather the change in business models.

The IoT concept proposes connecting billions of devices around the world into single networks. The size of these networks may vary, but eventually they are likely to be connected into one big hypergrid. What makes objects smart is the development of artificial intelligence and related machine learning. Technology from the fantasy novels of Soviet writers is indeed being actively developed in modern Russia. According to IDC (one of the world's leading analytical and consulting companies), total spending on the Internet of Things will reach almost \$742 billion in 2020. Because of the pandemic, the development of the IT sphere has slowed down, but the Russian Internet of Things market is predicted to grow 16.8 percent a year over the next five years. The number of connected devices will also grow. If in 2019 there were about 7.6 billion of them, by 2030 there will be more than 24 billion [5].

The simplest example of how the Internet of Things works is the Yandex.Navigator app, which almost everyone has encountered. A gadget with an installed program transmits to a common server the direction of the car, its coordinates and speed. There, the information from all working devices is summarized and analyzed. As a result, the driver gets the best route, taking into account traffic jams and accidents, without taking part in the process of data processing. It turns out that each car with a switched on

navigator works as a traffic condition sensor and helps to minimize traffic jams.

Another real-life example comes from the housing and utilities sector. In April 2019, Tele2, together with Rostelecom and Nokia, tested IoT technology that collected readings from electricity meters directly to the supplying company's server. The tests took place in Moscow on the basis of Tele2's 4G network. The results proved that the automation of data transfer is very effective: users could forget about the need to constantly take readings from their meters, power supply companies reduced the cost of collecting them.

The Internet of Things is also appearing in more conservative areas, such as agriculture. For example, MTS has already implemented the Internet of Things in cows. 250 animals belonging to the Village Dairy Group have ingested small sensors. Now they collect all the information about the animal: temperature, level of acidity in the stomach, activity data.

This information helps to understand if a cow is sick or going to calve and if so, what to do about it: how to prepare for the appearance of calves, in what quantities to give antibiotics, and most importantly, how it will affect milk. Huawei and SAP have already created such sensors abroad. In Russia, Megafon and Beeline are also involved in projects in agriculture.

The experiment has already been approved by Mosenergosbyt. The commission of experts confirmed that IoT gives one hundred percent collection of measurements in different modes, as well as zero failures and network failures. This conclusion gives the possibility of active industrial use of this IoT technology [6].

Features of the current state of the system will be presented in the SWOT analysis of the concept of using the Internet of Things in modern smart cities in Table 1.

Table 1

SWOT-analysis of the concept of using the Internet of Things in modern smart cities

<p>One of the strengths of the development of the Internet of Things is that new technology is changing the way we interact with the labor market, society, and services. A large number of smart cities have already made it possible for their citizens to access government services or health information via the Internet. Digital technologies allow citizens to work remotely, and e-health technologies can change patient experience and health outcomes. In addition, digital innovation can bring significant efficiency and sustainability gains that provide new ways to deliver public services and optimize the use of idle or redundant resources.</p>	<p>Weaknesses. While smart cities increasingly rely on data to formulate and implement policies, more "data" does not necessarily lead to better policy making if it does not turn into valuable "information" that can shape policy decisions. In general, cities produce huge amounts of data, and relatively few cities believe that their scientific and technological capacity is limited by a lack of data. Rather, potential barriers to science and technology development may include the weak capacity of some cities to use data in policymaking; incompatibility of data across fields; lack of data collection and processing staff; and insufficient data sharing among agencies and institutions. Largely data-driven initiatives also sometimes carry the risk of bias. Although many cities have begun to "open up" their data to citizens, innovators, and entrepreneurs, transaction costs or contractual and legal issues can arise because of the lack of a regulatory framework conducive to innovation and experimentation.</p>
<p>Opportunities: Smart cities, with the active application of the Internet of Things, offer many opportunities for more efficient service delivery, digital inclusion, service delivery, and new forms of participation in decision-making. Data-driven science and technology solutions can help integrate urban systems into a more efficient, sustainable and resilient system, for example by combining real-time data on traffic flow, energy, water supply and waste management systems. Digital technology can help create a more flexible and responsive governance model by using electronic technology to facilitate access to information and expression, monitoring and innovation labs. Digitalization also gives cities the opportunity to improve their organizational and administrative capacity to overcome common problems, such as bureaucratic red tape, risk-averse human resource management methods, a fragmented approach to policy development, hierarchical structures and a lack of a talented and motivated workforce [7].</p>	<p>Threats: In the era of open data, big data analytics and the Internet of Things, there are serious risks associated with the privacy of citizens, where personal information (including health and medical data) may be illegally shared with undesirable individuals or used for unwanted purposes. Thus, an important issue that needs to be addressed relates to the type of data that can be collected and published, as well as the length of time it can be retained. The use of IoT technology can unintentionally deepen the existing gap between already technologically marginalized groups and those with better connections. In addition, new business models supported by new technologies can threaten the goals of affordability, consumer protection, taxation, labor contracts, and fair competition - for example, by circumventing tax laws, hiring independent contractors, or promoting the interests of large companies at the expense of smaller firms. Regulatory frameworks, such as those related to public procurement, will need to adapt quickly to provide the necessary protections.</p>

As a result, we can see that the Internet of Things is firmly entering the lives of ordinary users, but the real pace of development of IoT technologies is much faster than we imagine and gradually covers more and more new industries. In a report by Fortune Business Insights, the value of the IoT market will reach the trillion-dollar mark by 2026 (last year the figure was 190 billion dollars). The number of IoT devices is also growing, which has already reached an impressive 14.2 billion units [8].

If we think of the Internet of Things as a pyramid, the top of the pyramid would be the data transfer protocols. Many IoT devices are essentially just a set of miniature sensors whose power is incomparable to the computing power of "serious" technology. In addition, they often need to operate from an autonomous power source for many months or even years. To increase this resource, it was necessary to create optimized network

protocols that transfer only the necessary data with minimal load on the system.

In second place is communication. The more "smart" devices become, the greater the load on the network they create. At some (very remote in time) user may find himself in a situation when his "smart" house consumes so much traffic that network bandwidth is simply not enough for instant data exchange between components. And if there are dozens, hundreds or thousands of such houses? That is why fifth-generation networks, which provide enormous data transfer rates (over 10 Gbit/s) and high bandwidth, have recently become an important part of the concept.

Then there are sensors, whose main task is to collect different types of data. Infrared sensors, motion sensors, temperature and pressure sensors, humidity and light sensors are all important for the IoT, and the main requirement for them is that they are small and low-power.

And the most basic part of the Internet of Things, the foundation of this pyramid, is the IoT platforms that connect smart devices and allow them to interact normally.

According to estimates of the German Academy of Science and Technology, the introduction of industrial IoT-technology (the so-called "Industry 4.0") in the period up to 2025 will increase the productivity of German industrial enterprises by 30% [9].

However, the volume of the Russian market is still relatively small by the standards of other countries and in 2020, according to various forecasts, will amount to 4-9 billion dollars [10].

A promising development in the use of the Internet of Things is the development of the smart city, which originally referred to initiatives that used digital and ICT-based innovations to improve the efficiency of urban services and create new economic opportunities in cities. With the proliferation of smart city initiatives around the world, it has become necessary to pay more attention to whether the benefits of smart cities extend to all segments of society.

In most cases, smart cities revolve around initiatives that use digital and scientific and technological innovation to increase the efficiency of urban service delivery and thereby improve the overall competitiveness of the community. A human-centered approach is considered the key to making a city smarter, which today is not possible without the effective use of the Internet of Things.

The analysis of conceptual documents of the leading world cities in the field of development of the «megacity of the future» concept showed that the government interested in implementation of the smart city strategy, which determines the guidelines for long-term strategic development and integrated approach to introduction of the latest technologies, can be an independent customer of creation of scientific and technological solutions, create incentives for business to develop and implement them. One of the most important aspects of implementing the concept of the "megacity of the future" is a competent comparison of goals and expected results, including an assessment of the effectiveness of the implementation of strategies.

Undoubtedly, as IoT applications grow, there will be an explosive growth in the amount of data generated by devices and with it a huge expansion of the field for innovation [11]. If the accumulated data can be scientifically analyzed, a qualitative technological breakthrough awaits us. But even today, in the process of IoT formation, its potential to reduce management costs is obvious (the examples described above are

proof of this). What is clear is that the IoT will increase the productivity of workers in the industries involved and improve the quality of life of the population because the services they receive will become more targeted and of higher quality.

References:

1. The Internet of Things is changing the perception of life//Control Engineering Russia. - №4 (46). - 2013. - C. 73-75
2. Nafikova T. N. Promising markets and technologies of the Internet of things. - M., 2019. - C. 36 - 38
3. The internet of things (IoT) what it is and why it matters. - https://www.sas.com/ru_ru/insights/big-data/internet-of-things.html
4. Strategy&, part of the PwC network "Industry 4.0. Opportunities and challenges of the industrial internet", 2014. <https://docplayer.net/10860187-Industry-4-0-opportunities-and-challenges-of-the-industrial-internet.html>
5. Galeev A. The future is already here" How smart homes and smart cities will change the lives of billions of people around the world. - 2021. - <https://lenta.ru/articles/2021/11/02/iot/>
6. Rubin E. The Internet of Things: what it is and what personal benefit I get from it. - 2019. - https://saint-petersburg.ru/m/kak_eto_sdelano/rubin/372290/
7. Enhancing the Contribution of Digitalisation to the Smart Cities of the Future // Organization for Economic Cooperation and Development: official website. - 2019. - <https://www.oecd.org/regional/regionaldevelopment/Smart-Cities-FINAL.pdf>
8. Maksimov V. The Internet of Things: the concept, infrastructure and prospects. - 2019. - <https://vc.ru/flood/95013-internet-veshchey-ponyatie-infrastruktura-i-perspektivy...>
9. Pukha Y. How Russia will move to "Industry 4.0". - 2017. - <https://www.vedomosti.ru/technology/blogs/2017/03/10/680657-industrii-40>
10. Prospects for the development of the Internet of Things in Russia. - 2019. - <https://www.pwc.ru/ru/communications/assets/the-internet-of-things/2019-internet-of-things-russian.pdf>
11. Kulinichev I. Internet of Things: prospects for development, creation of infrastructure, ensuring security // Rational Enterprise Management. - №4. - 2015. - C. 20-24.

Сорокина М.О.,

студент гр. СЖДт-418

Голубев О.В.,

преподаватель, доцент, к.т.н.

Кафедра «Путь и железнодорожное строительство»,

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),

Екатеринбург

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ВИРТУАЛЬНОЙ СЦЕПКИ ПОЕЗДОВ

Sorokina M.O.,

student gr. SZHDt-418

Golubev O.V.,

teacher, reader, c.t.s.

Department of "Way and railway construction",

Ural State University of Railway Transport (USURT),

Yekaterinburg

INCREASING THE CAPACITY OF RAILWAYS WITH THE INTRODUCTION OF VIRTUAL TRAIN COUPLING

DOI: [10.31618/ESSA.2782-1994.2022.1.77.228](https://doi.org/10.31618/ESSA.2782-1994.2022.1.77.228)

Аннотация. В данной статье рассмотрена эффективность внедрения виртуальной сцепки поездов на пропускную способность железных дорог. В статье сравниваются возможные способы организации виртуальной сцепки: применение радиоблок-центров и использование «виртуальной сцепки» при непосредственном обмене информацией между локомотивами. Рассматриваются технические и технологические проблемы, возникающие при реализации данной технологии. В заключении строится схема эффективного применения технологии виртуальной сцепки для решения задачи увеличения пропускной способности железных дорог. Сделан вывод о том, что задача увеличения пропускной способности требует комплексного подхода к решению с учетом всех технических и технологических особенностей дороги.

Abstract. This article discusses the effectiveness of the implementation of a virtual train coupling on the capacity of railways. The article compares the possible ways of organizing a virtual coupling: the use of radio block centers and the use of a "virtual coupling" in the direct exchange of information between locomotives. Technical problems and technological problems that arise when implementing this technology are considered. In conclusion, the scheme of effective application of virtual coupling technology for solving the problem of increasing the capacity of railway sections is constructed. It is concluded that the task of increasing the capacity requires an integrated approach to the solution, taking into account all the technical and technological features of the road.

Ключевые слова: виртуальная сцепка, пропускная способность, соединенный поезд, радиоканал.

Keywords: virtual coupling, capacity, connected train, radio channel.

Введение

Железная дорога – ключевой элемент транспортной системы РФ, обеспечивающий более 45% грузооборота и 26% пассажирооборота. Российские железные дороги – неотъемлемая часть международных транспортных сетей. Одной из множества сформулированных в стратегии развития холдинга «РЖД» целей является формирование и продвижение комплексных транспортно-логистических услуг на евроазиатском пространстве за счет увеличения транзитных перевозок грузов на ключевых направлениях Восток–Запад и Север–Юг.

Тенденция увеличения грузооборота диктует необходимость повышения эффективности использования существующей инфраструктуры, освоения и применения передовых инновационных технологий и технических средств.

Максимальные объемы перевозок, осуществляемых на сети железных дорог,

определяются такими параметрами, как пропускная и провозная способности. Таким образом актуальной задачей становится повышение пропускной и провозной способностей железнодорожных линий, особенно в условиях ремонта пути с закрытием одного из путей двухпутных участков.

Целью статьи является рассмотрение возможных вариантов увеличения пропускной способности железной дороги через совершенствование систем интервального регулирования движения поездов. Основное внимание акцентируется на перспективной технологии виртуальной сцепки поездов. Движение поездов в таких системах управления осуществляется на базе радиоканала. Также будут определены достоинства и недостатки представленной технологии, предложены возможные решения для перехода к ее эффективному применению.

1. Системы интервального регулирования движения поездов

Основные виды систем интервального регулирования:

- полуавтоматическая блокировка (ПАБ) – система интервального регулирования, при которой по перегону может двигаться только один поезд;
- автоблокировка (АБ) – система автоматического регулирования интервалов между поездами, попутно следующими по перегону;
- автоматическая локомотивная сигнализация непрерывного типа как самостоятельное средство сигнализации и связи (АЛСН) – движение поездов по перегону осуществляется по показаниям локомотивных светофоров;
- многозначная локомотивная сигнализация (АЛС-ЕН) – межпоездным интервалом считается временной промежуток между прохождением поездами расчетной точки с максимальной допустимой скоростью;
- автоблокировка с подвижными блок-участками – основана на принципе участков кодирования за хвостом поезда.

Сейчас безопасное расстояние между поездами обеспечивается при помощи автоблокировки. Перегоны поделены на блок-участки, длиной от 800 метров до двух с половиной километров. По одному блок-участку может двигаться лишь один поезд. Въезд на блок-участок огражден проходными светофорами [6,7].

В наше время используется трёхзначная и четырёхзначная автоблокировка.

Следование поездов один за другим называется следованием по удалению, а машинист, видя показание проходных светофоров, знает,

сколько впереди свободно блок-участков и выбирает безопасную скорость [1].

2. Технология виртуальной сцепки

В соответствии со стратегией научно-технологического развития холдинга «РЖД» одним из перспективных направлений становится развитие технологий интервального регулирования движения поездов с использованием беспроводной передачи данных.

Данная технология предполагает, что светофоры не будут нужны, машинист руководствуется расстоянием до впереди идущего состава, на последнем вагоне которого размещен виртуальный светофор, позволяющий держать безопасное расстояние между поездами [9].

По данным инженеров РЖД, технология позволит сократить интервал попутного следования составов в два раза – с 10 до 5 минут и за счет этого пропускать большее количество поездов.

«Виртуальная сцепка» обеспечивает синхронное движение двух попутно следующих грузовых поездов с минимально допустимым удалением друг от друга. Координация режимов ведения локомотивов при этом происходит по защищенному цифровому радиоканалу непрерывно с задержкой не более 100 мс. Интеллектуальная система контролирует местоположение, скорость и ее изменение, а также расстояние до впереди идущего поезда.

В отличие от технологии соединенного поезда, виртуальная сцепка не предполагает физического объединения составов, а значит и не требует наличия на станции длинных приемоотправочных путей [2].

Сравнение технологий представлено на рисунке 1.

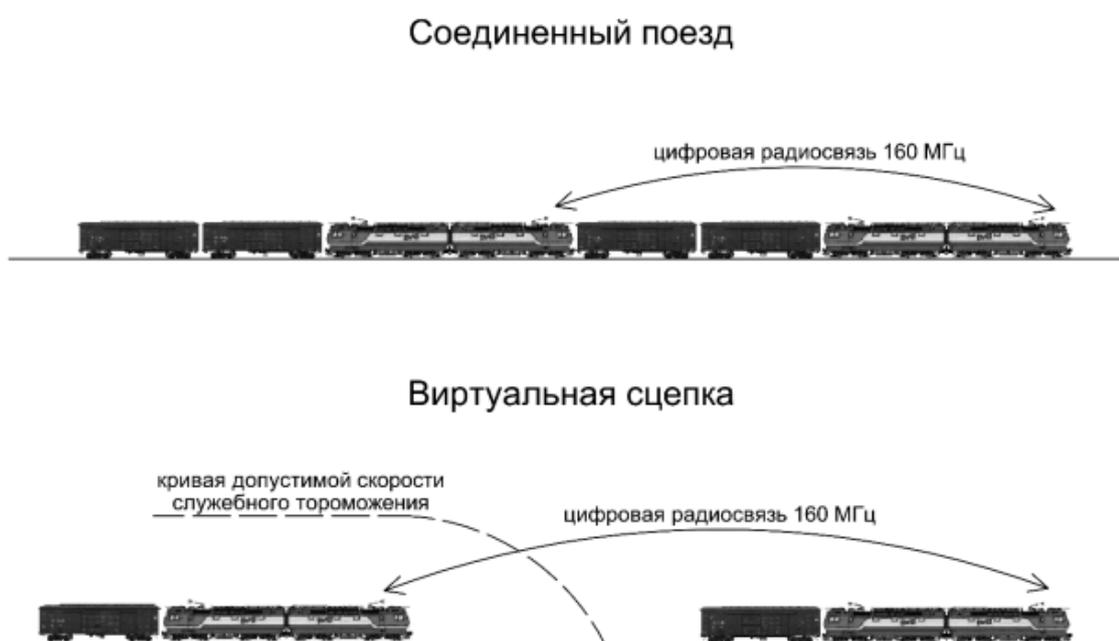


Рисунок 1 - Сравнение технологии соединенного поезда и виртуальной сцепки

За счет данной технологии снизятся затраты на содержание, капитальное строительство, а также в перспективе поможет перейти к гибкому управлению движением, позволяющим при необходимости сближать и отдалять поезда, которые следуют в виртуальной сцепке, обеспечивая наиболее удобный график движения. Но для этого необходимо обеспечить высокое качество используемых элементов инфраструктуры, повысить надежность локомотивов.

По расчетам специалистов, при использовании технологии «виртуальной сцепки» пропускная способность железнодорожной инфраструктуры в текущем состоянии может увеличиться до 15%. Кроме того, с ее помощью можно обеспечить движение по сети со скоростью более 60 км/ч и

увеличить маршрут следования состава до 3 тыс. км, не опасаясь изменений профиля пути.

3. Реализация технологии виртуальной сцепки

Существует два подхода к организации технологии виртуальной сцепки.

Первый подход подразумевает обмен данными непосредственно между локомотивами (рис. 2). Связь между ними осуществляется посредством радиоканала. Ведущий локомотив фактически управляет работой ведомого, отправляя ему режимы ведения поезда, а ведомый отправляет информацию о своем состоянии для корректирования режимов ведения. Синхронизация движения обеспечивается системой ИСАВП-РТ (интеллектуальная система автоматизированного вождения поездов с распределённой по длине тягой).



Рисунок 2 - Виртуальная сцепка поездов с обменом данными между локомотивами

Второй подход предусматривает обмен данными между локомотивами через радиоблок-центр – технических средств, обрабатывающих информацию с локомотивов и выдающих сигналы

управления (рис. 3). Радиоблок-центр на основании информации от систем СЦБ и локомотивов формирует и передает команды управления поездом.



Рисунок 3 - Виртуальная сцепка с обменом данными через радиоблок-центр

Применение виртуальной сцепки позволяет реализовать систему распределенной тяги.

28 августа 2021 года на Восточном полигоне состоялось успешное испытание технологии виртуальной сцепки – два поезда проследовали от Хабаровска до Находки в заданном режиме.

Пробная поездка выполнялась на электровозах 3ЭС5К, оборудованных системой ИСАВП-РТ, в режиме «виртуальной сцепки». Поездка проверила работоспособность системы передачи данных, алгоритм управления ведомым поездом при движении ведущего поезда, управление ведомым локомотивом при торможении ведущего локомотива, а также порядок проследования мест ограничения скорости по предупреждению [10].

4. Недостатки технологии виртуальной сцепки

К недостаткам виртуальной сцепки относятся:

- отсутствие надежной альтернативы напольным устройствам безопасности (необходимость обеспечения контрольного режима);
- недостаточная оснащенность сети железных дорог цифровой радиосвязью;
- потребность в «умном локомотивном устройстве безопасности», которое будет принимать и передавать сигналы управления, определять местоположение поезда с высокой точностью, контролировать целостность состава;
- при сокращении интервала времени между поездами до 5 минут первые четыре поезда займут все приемоотправочные пути, а с пятого поезда возникнут задержки, связанные с технологическими операциями по обработке поездов, прибывших на станцию [4,5];
- длительное время – от 30 до 60 минут на сцепку поезда и проверку тормозов, потребность в

разъединении поездов для проверки тормозов и их подбор друг к другу по состоянию локомотивов;
 – возрастают риски возникновения продольно-динамических реакций с последующим выдавливанием вагонов или разрывом автосцепок из-за большой длины состава и значительного веса поезда (до 12 тонн) [11,12].

5. Схема применения технологии виртуальной сцепки

На основании всего вышесказанного можно построить схему применения технологии

виртуальной сцепки, обеспечивающую увеличение пропускной способности участка железных дорог (рис. 4).

Овальными рамками обозначены получаемые эффекты, а прямоугольными – действия для получения требуемого эффекта.

В нижней части рисунка 4 приводятся условия, без которых невозможна безопасная реализация технологии виртуальной сцепки.

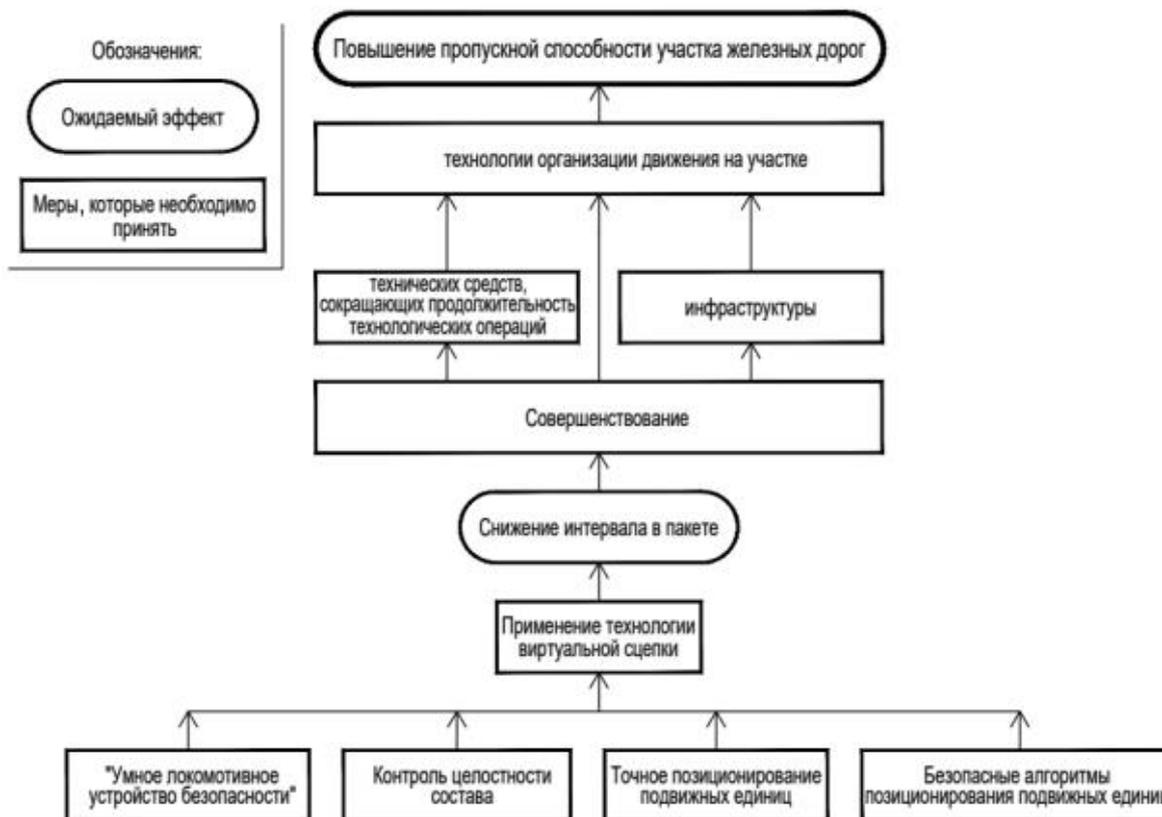


Рисунок 4 - Схема применения технологии виртуальной сцепки

Под «умным локомотивным устройством безопасности» понимается комплекс технических средств для двухстороннего взаимодействия с объектами инфраструктуры, операторами процессов и автоматического регулирования скорости поезда.

Важным фактором безопасности движения по радиоканалу без применения напольных устройств безопасности является непрерывный контроль целостности состава. В связи с этим для поездов, двигающихся в виртуальной сцепке, обязательным условием станет наличие безопасной системы контроля целостности состава.

Следующее условие для перехода к данной технологии – точное позиционирование подвижных единиц. Точность расчетов допустимой скорости движения поезда в определенной точке пути зависит от точности определения координаты головного локомотива.

Однако нужно быть уверенными и в безопасности полученных данных, отсюда необходимы алгоритмы и устройства, обеспечивающие безопасность вычисления, приема и передачи данных о местоположении и состоянии поездов, движущихся в виртуальной сцепке. Надежность передачи данных по радиоканалам должна соответствовать требованиям стандарта BS EN 50159:2010+A1:2020 [3].

Соблюдение всех условий позволит перейти к применению технологии виртуальной сцепки. Эффектом от ее применения станет сокращение интервала в пакете, поскольку интервал между поездами на перегоне будет уменьшен. Но увеличение количества поездов на перегоне может привести к тому, что инфраструктура станций участка железной дороги не сможет переработать поток поездов, прибывающих с минимальным интервалом.

Для получения дальнейшего эффекта от применения виртуальной сцепки необходимо решить появляющуюся проблему. Имеются три основных направления решения:

- совершенствование технических средств, сокращающих продолжительность технологических операций, например, применение технологии автоматизированного закрепления состава;

- изменение технологии организации движения на участках – поиск резервов пропускной способности, переключение электрической централизации в режим автоблокировки, определение оптимальных вариантов движения поездов в виртуальной сцепке с учетом возможности их сближения и удаления друг от друга;

- улучшение инфраструктуры – реконструкция путевого развития станций, систем тягового энергоснабжения и других систем обеспечения движения поездов [13].

Перед внедрением технологии виртуальной сцепки требуется провести детальный анализ технического и технологического состояния участка. Для этого эффективно использовать методы имитационного моделирования [4].

Представленные варианты развития технологии виртуальной сцепки являются общими. Возможно, на некоторых участках и направлениях достаточно будет изменить технологию организации движения без привлечения значительных затрат на технические средства или инфраструктуру. На других придется провести дополнительную модернизацию технических средств, сокращающих продолжительность технологических операций.

Заключение

Технология виртуальной сцепки позволяет много, например, идущему сзади составу держать безопасное расстояние, сокращать интервал попутного следования, пропускать большее количество поездов, а также эффективно использовать возможности инфраструктуры, в том числе во время ремонтных работ, когда поезда пропускаются по одному из путей перегона.

Но представленная схема применения технологии виртуальной сцепки показывает, что для решения задачи увеличения пропускной способности недостаточно реализовать технологию виртуальной сцепки. Необходимо прорабатывать вопросы состояния инфраструктуры, переосмыслить технологию организации движения поездов, развивать технические средства, снижающие затраты времени на производимые людьми операции по обработке составов.

Из полученного следует, что с учетом всех технических и технологических особенностей участка увеличение пропускной способности требует комплексного подхода, а технология виртуальной сцепки является одним из множества

элементов, над которыми предстоит работать для решения поставленной задачи.

Так или иначе, виртуальная сцепка – это логичный шаг к будущему железнодорожных перевозок. Однако, как и любая новая технология, она нуждается в «обкатке» и, скорее всего, в дальнейших доработках.

Литература

1. Климова Е. Е., Пилипушка Л. Е., Рябов В. С. Технология «виртуальной сцепки» поездов как инструмент повышения провозной и пропускной способности линии // Транспортная инфраструктура сибирского региона: Материалы X Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 60–64.
2. Розенберг Е. Н., Коровин А. С. Глобальные тренды развития транспортных систем // Автоматика, связь, информатика. – 2018. – № 12. – С. 14–19.
3. Шаманов В. И. Системы интервального регулирования движения поездов с цифровыми радиоканалами // Автоматика на транспорте. – 2018. – Том 4. – № 2. – С. 223–239.
4. Розенберг Е. Н., Абрамов А. А., Батраев В. В. Интервальное регулирование движения поездов // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 9. – С. 19–24.
5. Тимухина Е. Н., Кощеев А. А. Использование имитационного моделирования для определения оптимальных параметров и элементов транспортной системы // Интеграция образовательной, научной и воспитательной деятельности в организациях общего и профессионального образования: Материалы IX Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 222–224.
6. <https://vgudok.com/lenta/rzhd-scepilis-s-realityu-gotova-li-zheleznaya-doroga-k-virtualnoy-scepke-prodvigaemoy>
7. <https://zen.yandex.ru/media/podstuk/chto-zazver-takoi-virtualnaia-scepkakotoruii-rjd-hochet-vnedrit-dlia-velicheniia-propusknoisposobnosti-60ff3ccad3ce4906638cb650>
8. http://railwayexpo.ru/images/docs/2019/presentation/ДЕНЬ%2029%20агуста/ЗАЛ_2/1000_PRO%20Цифровые%20технологии%20интервального%20регулирувания/04_%20Елена%20Шухина_RU.pdf
9. <https://rossaprimavera.ru/news/fbb46614>
10. https://pikabu.ru/story/virtualnaya_stsepka_lokomotivov_6918353
11. <https://zen.yandex.ru/media/zaalan/virtualnai-a-scepka-poezdov-avtoscepkoj-ne-soedineny-no-edut-sinhronno-5dbdff7195aa9f00b185509f>
12. <https://vc.ru/transport/249054-na-nevidimoy-scepke>
13. <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-propusknoy-sposobnosti-uchastka-zheleznoy-dorogis-primeniem-tehnologii-virtualnoy-stsepki>
14. <https://company.rzd.ru/ru/9397/page/104069?id=262451>

Klyuyev O.V.

*Dniprovsky State Technical University, Kamianske,
Dnipropetrovsk region, Ukraine*

Logvinova V. O.

*Dniprovsky State Technical University, Kamianske,
Dnipropetrovsk region, Ukraine*

SYNTHESIS OF THE TURNING ANGLE IDENTIFIER ROTOR IN VECTOR CONTROL SYSTEM ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE

УДК 62-83:681.513.5

Клюев Олег Владимирович

*кандидат технических наук, доцент кафедры
электротехники и электромеханики,*

*Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское,
Днепропетровская область, Украина*

Логвинова Виктория Олеговна

*бакалавр кафедры электротехники и электромеханики
Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское,
Днепропетровская область, Украина*

СИНТЕЗ ИДЕНТИФИКАТОРА УГЛА ПОВОРОТА РОТОРА В СИСТЕМЕ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

[DOI: 10.31618/ESSA.2782-1994.2022.1.77.229](https://doi.org/10.31618/ESSA.2782-1994.2022.1.77.229)

Summary. The paper for a dual-feed machine, new equations of the mathematical model of the identifier of the rotor position angle are obtained, which can be used in the synthesis of vector control systems for asynchronous gate cascade. An analysis of the stability of the developed identifier was carried out, the results of which were used in the synthesis of the identifier structure, which expands the range of its operation modes.

Аннотация. В статье для машины двойного питания получены новые уравнения математической модели идентификатора угла положения ротора, которые могут использоваться при синтезе систем векторного управления асинхронными вентильными каскадами. Осуществлён анализ устойчивости разработанного идентификатора, результаты которого использовались при синтезе структуры идентификатора, расширяющей диапазон режимов его эксплуатации.

Keywords. *Dual feed machine, coordinate transformations, trigonometric functions of rotation angle, vector control, asymptotic stability.*

Ключевые слова. *Машина двойного питания, координатные преобразования, тригонометрические функции угла поворота, векторное управление, асимптотическая устойчивость.*

Постановка проблемы. В системах векторного управления асинхронными электроприводами (ЭП) с преобразователем частоты в цепи ротора необходимо в блоках координатных преобразователей использовать значения синуса и косинуса угла поворота ротора (ось d) относительно статора (ось α). При подключении статора асинхронной машины (АМ) к сети получаем ЭП по схеме машины двойного питания [1]. Если датчик положения является электрической микромашиной малой мощности, возникают довольно сложные задачи конструктивного характера— размещения и надёжного крепления датчика на валу и соответственно задачи общей компоновки агрегата. Для крупных машин, как правило, уникальных машин большой мощности, встают и задачи разработки и создания конструкции самого датчика [2]. Если могут быть использованы серийные датчики углового положения ротора, задачи размещения и крепления датчика не менее сложны. В этих случаях требуется вывод второго конца вала из корпуса двигателя с контактными кольцами, что усложняет его конструкцию. Ситуация

усложняется при создании серий двигателей на различные мощности и номинальные частоты вращения. Если же учесть, что датчики положения являются прецизионными электрическими машинами с малыми допустимыми коэффициентами несимметрии фазных напряжений и коэффициентом нелинейных искажений, то в условиях массового внедрения асинхронных машин разработка и создание датчиков положения становятся самостоятельной задачей.

Общая идея идентификации изложена в работе [3], где указывается, что для синтеза идентификатора угла поворота ротора можно использовать вектор любой электромагнитной величины. В источнике [4] показана работоспособность идентификатора использующего вектор потокосцепления статора.

Получим уравнения математической модели идентификатора, в которой базовым является вектор тока ротора.

Цель исследования. В работе ставится задача с использованием координатных преобразователей проекций векторов токов ротора и уравнений

электромагнитных контуров АМ осуществить синтез и последующий анализ свойств идентификатора угла положения ротора в векторной системе управления машиной двойного питания.

Результаты работы. Воспользуемся известными соотношениями координатного преобразования [4-6]:

$$\hat{I}_{r\alpha} = I_{rd} \overline{\cos \gamma} - I_{rq} \overline{\sin \gamma}; \hat{I}_{r\beta} = I_{rq} \overline{\cos \gamma} + I_{rd} \overline{\sin \gamma}. \quad (1)$$

Токи ротора I_{rd}, I_{rq} в осях d, q можно измерить датчиками. Если предположить, что возможно каким-то образом вычислить проекции тока ротора

$\hat{I}_{r\alpha}, \hat{I}_{r\beta}$ на ортогональные оси статора α, β , то, разрешая уравнения (1) относительно $\cos \gamma, \sin \gamma$, получим следующие выражения

$$\cos \frac{\begin{vmatrix} \hat{I}_{r\alpha} & -I_{rq} \\ \hat{I}_{r\beta} & I_{rd} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} I_{rd} & -I_{rq} \\ I_{rq} & I_{rd} \end{vmatrix}} \frac{I_{rd} \hat{I}_{r\alpha} + I_{rq} \hat{I}_{r\beta}}{I_r^2}; \sin \frac{\begin{vmatrix} I_{rd} & \hat{I}_{r\alpha} \\ I_{rq} & \hat{I}_{r\beta} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} I_{rd} & -I_{rq} \\ I_{rq} & I_{rd} \end{vmatrix}} \frac{I_{rd} \hat{I}_{r\beta} - I_{rq} \hat{I}_{r\alpha}}{I_r^2}, \quad (2)$$

где $I_r^2 = I_{rd}^2 + I_{rq}^2$ – квадрат модуля тока ротора.

Для этого воспользуемся уравнениями электромагнитных контуров асинхронной машины в осях u, v [4-6]:

Требуется получить математическую модель, в результате решения которой находятся проекции

$$\vec{U}_s = R_s \vec{I}_s + \frac{d\vec{\Psi}_s}{dt} + j\omega_k \vec{\Psi}_s; \vec{U}_r = R_r \vec{I}_r + \frac{d\vec{\Psi}_r}{dt} + j(\omega_k - \omega) \vec{\Psi}_r. \quad (3)$$

$$\vec{\Psi}_s = L_s \vec{I}_s + L_m \vec{I}_r; \vec{\Psi}_r = L_r \vec{I}_r + L_m \vec{I}_s. \quad (4)$$

Из (3) запишем уравнения равновесия напряжений ротора в осях α, β , когда $\omega_k = 0$:

$$\hat{U}_{r\alpha} = R_r \hat{I}_{r\alpha} + p \hat{\Psi}_{r\alpha} + \omega \hat{\Psi}_{r\beta}; \hat{U}_{r\beta} = R_r \hat{I}_{r\beta} + p \hat{\Psi}_{r\beta} - \omega \hat{\Psi}_{r\alpha}. \quad (5)$$

Из (4) следуют уравнения потокосцеплений ротора в осях α, β :

$$\hat{\Psi}_{r\alpha} = L_r \hat{I}_{r\alpha} + L_m I_{s\alpha}; \hat{\Psi}_{r\beta} = L_r \hat{I}_{r\beta} + L_m I_{s\beta}. \quad (6)$$

Из формул (6) выразим проекции тока ротора

$$\hat{I}_{r\alpha} = \frac{\hat{\Psi}_{r\alpha} - L_m I_{s\alpha}}{L_r}; \hat{I}_{r\beta} = \frac{\hat{\Psi}_{r\beta} - L_m I_{s\beta}}{L_r}. \quad (7)$$

Подставим выражения (7) в уравнения (5) и получим

$$\hat{U}_{r\alpha} = \frac{R_r}{L_r} \hat{\Psi}_{r\alpha} - k_r R_r I_{s\alpha} + p \hat{\Psi}_{r\alpha} + \omega \hat{\Psi}_{r\beta};$$

$$\hat{U}_{r\beta} = \frac{R_r}{L_r} \hat{\Psi}_{r\beta} - k_r R_r I_{s\beta} + p \hat{\Psi}_{r\beta} - \omega \hat{\Psi}_{r\alpha}, \quad (8)$$

где $k_r = L_m / L_r$.

Проекции вектора напряжения ротора образуются на выходе координатного преобразователя

$$\hat{U}_{r\alpha} = \overline{U_{rd} \cos_{rq} \sin}; \hat{U}_{r\beta} = \overline{U_{rq} \cos_{rd} \sin}. \quad (9)$$

Подставим (7) в (2) и далее полученный результат в (9). Тогда приходим к следующим выражениям для напряжений

$$\hat{U}_{r\alpha} = \frac{p_r}{L_r I_r^2} \hat{\Psi}_{r\alpha} - \frac{q_r}{L_r I_r^2} \hat{\Psi}_{r\beta} - \frac{k_r p_r}{I_r^2} I_{s\alpha} + \frac{k_r q_r}{I_r^2} I_{s\beta}$$

$$\hat{U}_{r\beta} = \frac{p_r}{L_r I_r^2} \hat{\Psi}_{r\beta} + \frac{q_r}{L_r I_r^2} \hat{\Psi}_{r\alpha} - \frac{k_r q_r}{I_r^2} I_{s\alpha} - \frac{k_r p_r}{I_r^2} I_{s\beta}, \quad (10)$$

где $p_r = U_{rd} I_{rd} + U_{rq} I_{rq}$; $q_r = U_{rq} I_{rd} - U_{rd} I_{rq}$ - преобразований получаем следующую систему уравнений идентифицирующую проекции вектора активной и реактивной мощности ротора. уравнений идентифицирующую проекции вектора

Подставляем соотношения (10) в дифференциальные уравнения (8) и после потокоцепления ротора на ортогональные оси статора:

$$\begin{aligned} p \hat{\Psi}_{r\alpha} &= \left(-\frac{R_r}{L_r} + \frac{p_r}{L_r I_r^2} \right) \hat{\Psi}_{r\alpha} - \left(\omega + \frac{q_r}{L_r I_r^2} \right) \hat{\Psi}_{r\beta} - k_r p_r \frac{I_{s\alpha}}{I_r^2} + k_r q_r \frac{I_{s\beta}}{I_r^2} + k_r R_r I_{s\alpha}; \\ p \hat{\Psi}_{r\beta} &= \left(-\frac{R_r}{L_r} + \frac{p_r}{L_r I_r^2} \right) \hat{\Psi}_{r\beta} + \left(\omega + \frac{q_r}{L_r I_r^2} \right) \hat{\Psi}_{r\alpha} - k_r p_r \frac{I_{s\beta}}{I_r^2} - k_r q_r \frac{I_{s\alpha}}{I_r^2} + k_r R_r I_{s\beta}. \end{aligned} \quad (11)$$

Для определения режимов работы ЭП, при которых возможно использовать предложенный идентификатор, осуществим анализ устойчивости системы уравнений (11). Динамика собственных движений системы (11) в приращениях описывается следующими уравнениями

$$p \Delta \hat{\Psi}_{r\alpha} = a_{11} \Delta \hat{\Psi}_{r\alpha} + a_{12} \Delta \hat{\Psi}_{r\beta}; \quad p \Delta \hat{\Psi}_{r\beta} = -a_{12} \Delta \hat{\Psi}_{r\alpha} + a_{11} \Delta \hat{\Psi}_{r\beta}, \quad (12)$$

где

$$a_{11} = a_{22} = -\frac{R_r}{L_r} + \frac{p_r}{L_r I_r^2}; \quad a_{12} = -a_{21} = -\left(\omega + \frac{q_r}{L_r I_r^2} \right). \quad (13)$$

Характеристическое уравнение имеет вид

$$p^2 - 2a_{11}p + a_{11}^2 + a_{12}^2 = 0. \quad (14)$$

В соответствии с критерием устойчивости Гурвица система второго порядка устойчива, если выполняются следующие условия

$$-2a_{11} > 0, \quad a_{11}^2 + a_{12}^2 > 0. \quad (15)$$

Второе неравенство выполняется при любых значениях переменных состояния. Из первого неравенства получается условие устойчивости

$$-\frac{R_r}{L_r} + \frac{p_r}{L_r I_r^2} < 0 \Rightarrow p_r < R_r I_r^2. \quad (16)$$

Из условия (16) следует, что ЭП будет устойчивым, когда активная мощность через цепь ротора рекупируется в сеть и активная мощность ротора становится отрицательной. Условие (16) указывает на то, что для того, чтобы идентификатор

(11) оставался устойчивым, обратная связь, охватывающая интеграторы в структурной схеме системы (11), должна быть отрицательной.

Корни характеристического уравнения (14) равны

$$p_{1,2} = -\frac{R_r}{L_r} + \frac{p_r}{L_r I_r^2} \pm \sqrt{\left(\omega + \frac{q_r}{L_r I_r^2} \right)^2}. \quad (17)$$

Коэффициенты матрицы состояния A зависят от угловой скорости, активной и реактивной мощности ротора. Однако из соотношений (16) и (17) следует, что устойчивость идентификатора определяется только знаком активной мощности ротора. В состав мнимой части корней характеристического полинома входят скорость и реактивная мощность. Таким образом, в процессе регулирования скорости и реактивной мощности ЭП будет непрерывно меняться расположение корней характеристического полинома идентификатора на комплексной плоскости.

Поэтому при соблюдении условия (16) свойство устойчивости идентификатора сохраняется, но точность идентификации проекций $\hat{\Psi}_{r\alpha}$, $\hat{\Psi}_{r\beta}$ и динамика этого процесса могут зависеть от изменения обеих составляющих мощности роторной цепи и скорости вращения ротора.

Предлагается для обеспечения устойчивости идентификатора (11) на кратковременных интервалах рекуперативного торможения ввести в его состав нелинейность типа «зона нечувствительности». Тогда уравнения (11) принимают следующий вид

$$p \hat{\Psi}_{r\alpha} = \left(-\frac{R_r}{L_r} + \frac{p_r}{L_r I_r^2} \right) \hat{\Psi}_{r\alpha} - \left(\omega + \frac{q_r}{L_r I_r^2} \right) \hat{\Psi}_{r\beta} - k_r p_r \frac{I_{s\alpha}}{I_r^2} + k_r q_r \frac{I_{s\beta}}{I_r^2} + k_r R_r I_{s\alpha};$$

$$p\hat{\Psi}_{r\beta} = \left(-\frac{R_r}{L_r} + \frac{\bar{p}_r}{L_r I_r^2}\right)\hat{\Psi}_{r\beta} + \left(\omega + \frac{q_r}{L_r I_r^2}\right)\hat{\Psi}_{r\alpha} - k_r p_r \frac{I_{s\beta}}{I_r^2} - k_r q_r \frac{I_{s\alpha}}{I_r^2} + k_r R_r I_{s\beta}. \quad (18)$$

где

$$\bar{p}_r = \begin{cases} p_r, & \text{если } p_r < 0 \\ 0, & \text{если } p_r \geq 0 \end{cases} \quad (19)$$

Идентификатор угла поворота ротора работает следующим образом. В реальном времени решается система уравнений (18) и находятся проекции вектора потокосцепления ротора на ортогональные оси статора. Далее по выражениям (7) определяются проекции вектора тока ротора на оси α, β и по формулам (2) вычисляются синус и косинус угла поворота ротора. При этом скорость, токи и напряжения, а, следовательно, мгновенные значения мощностей ротора, измеряются датчиками и являются известными величинами.

Идентификатор (18) обеспечивает совпадение оцениваемых проекций потокосцеплений $\Psi_{r\alpha}, \Psi_{r\beta}$ со значениями их оценок $\hat{\Psi}_{r\alpha}, \hat{\Psi}_{r\beta}$ для электропривода по схеме асинхронного вентильного каскада (АВК) как частного случая машины двойного питания с векторным управлением по ротору при скорости ниже синхронной, когда $p_r < 0$. Результаты математического моделирования на рисунке 1 показали, что идентификатор (18) для АВК работает лучше, чем идентификатор для асинхронизированного генератора. Это проявляется в том, что кратковременные выходы

активной мощности ротора в область $p_r > 0$ в динамических режимах не сопровождаются заметными ошибками идентификации потокосцеплений $\Psi_{r\alpha}, \Psi_{r\beta}$, что, в свою очередь, обеспечивает достаточно точное определение косинуса и синуса угла поворота ротора по формулам (2). Идентификатор (18) сохраняет устойчивость и высокую точность в диапазоне скоростей $0 < \omega < \bar{\omega}$ (здесь $\bar{\omega} = (1.05 \div 1.1)\omega_0$, где ω_0 – синхронная скорость) при любом режиме по реактивным мощностям ротора и статора. При торможении, когда роторная цепь потребляет активную мощность с рекуперацией её через статор, в силу асимптотической устойчивости идентификатора (18) оценки синуса и косинуса угла поворота ротора (обозначены цифрой 1) стремятся к их оцениваемым значениям, что обеспечивает работоспособность векторной системы управления.

Выводы. В статье для асинхронного вентильного каскада с векторным управлением осуществлён синтез идентификатора угла поворота ротора

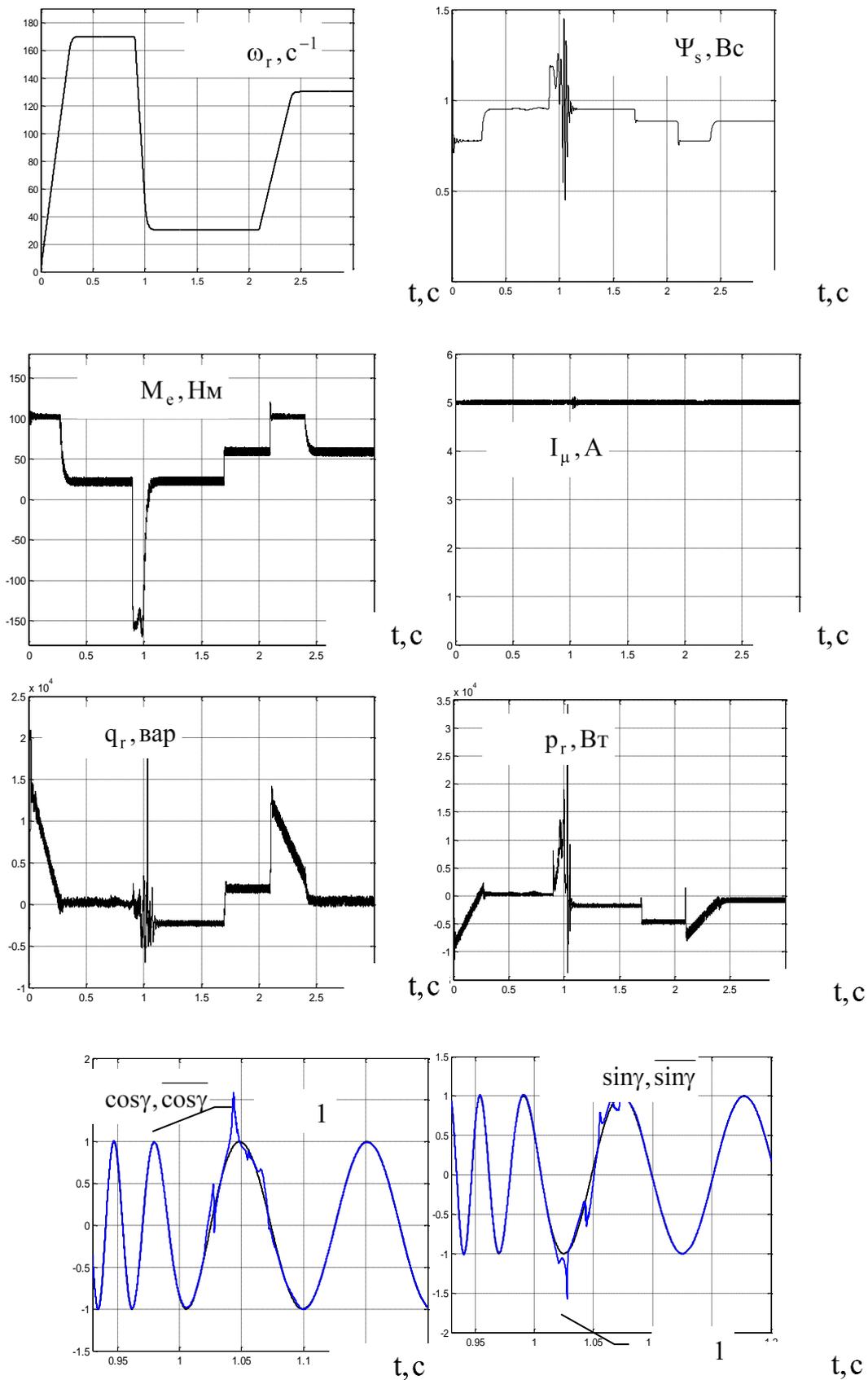


Рисунок 1 - Переходные процессы в асинхронном вентильном каскаде и его системе управления с идентификатором угла поворота ротора (18)

относительно статора, основанного на использовании вектора тока ротора. Получены новые уравнения идентификатора потокосцеплений (18), исследована их устойчивость и по условиям устойчивости определён тип электропривода, в котором возможно применять предложенный идентификатор. Для обеспечения асимптотической устойчивости идентификатора (18) в области, где нарушаются условия устойчивости (16), предложено в уравнения идентификатора ввести нелинейную функцию, (19). Устойчивость системы векторного управления и достаточная точность идентификации при использовании предложенных уравнений и функций подтверждены методом математического моделирования рекомендуемой системы электропривода по схеме АВК в различных режимах работы.

Список литературы

1. Ботвинник М.М., Шакарян Ю.Г. Управляемая машина переменного тока, М.: Наука, 1969, 140с.
2. Малафеев С.И., Салов С.А. Патент № RU2357348C1 Датчик положения ротора электрического двигателя, 2009г.
3. Шакарян Ю.Г. Асинхронизированные синхронные машины / Ю. Г. Шакарян. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 192с.
4. Ключев О.В., Садовой О.В., Сохина Ю.В. Системы керування асинхронними вентилями каскадами. – Кам'янське: ДДТУ, 2018. 294с.
5. Пивняк Г.Г, Волков А.В. Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы с широтно-импульсной модкляцией. – Дніпропетровськ, Національний гірничий університет, 2006. – 470с.
6. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока/ «Ивановский государственный энергетический университет». – Иваново, 2008.–298с.

Malogulko Yu.V.

*associate professor, PhD,
Vinnitsa national technical university*

Lastivka V.B.

*student
Vinnitsa national technical university*

THE POWER ENERGY STORAGE SYSTEMS TECHNOLOGY RESEARCH

Малогулко Юлия Владимировна

к.т.н., доцент

Винницкий национальный технический университет

Ластивка Виктория Богдановна

студентка

Винницкий национальный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

DOI: 10.31618/ESSA.2782-1994.2022.1.77.230

Summary. An analysis of the existing modern technologies of power energy storage systems was carried out for further study of the issues of their placement in distribution systems, as well as their functioning under different operating modes and features of the power system.

Аннотация. Проведен анализ существующих современных технологий систем накопления электрической энергии для дальнейшего изучения вопросов их размещения в распределительных системах, а также функционирования при разных режимах работы и особенностях энергосистемы.

Key words: energy storage, technology, electrical system.

Ключевые слова: накопление энергии, технологии, электрическая система.

Постановка проблемы. Мировая электроэнергетика находится в одном шаге от преобразования базового технологического принципа – соответствия уровня генерации и потребления в единый момент времени [1]. Прорывной технологией, которая позволит разделить генерацию и потребление, является накопление энергии. Эта технология полностью изменит всю систему диспетчеризации, соотношение традиционной и возобновляемой электроэнергетики и многое другое. Поэтому, необходимо исследовать современные технологии

системы накопления энергии, для извлечения наибольшей выгоды и для потребителей, и для энергосистемы, для тех, кто эти системы разрабатывает.

Системы накопления электроэнергии являются одним из самых быстрорастущих секторов электроэнергетики. За 10 лет сектор вырос в 48 раз, среднегодовые темпы роста составили 47%. По прогнозам Bloomberg NEF, к 2040 году суммарная мощность накопителей превысит 1 ТВт.

Анализ последних исследований и публикаций. В рассмотренных работах [2-3]

исследовано применение накопителей электрической энергии для решения некоторых задач, которые касаются нормального функционирования электроэнергетических систем (а именно: повышение пропускной способности межсистемных связей, стабилизация частоты и напряжения, улучшение статической и динамической устойчивости, противоаварийное управление). В работе [4] разработаны методы оптимального размещения накопителей в электроэнергетических системах с целью выравнивания суммарного графика нагрузки и минимизации потерь электроэнергии.

Много внимания ученые данной области исследования уделяют анализу возможностей применения накопителей как локальных буферов электрической энергии, обеспечивающих резерв мощности энергосистем.

Цель статьи. Исследование и анализ существующих современных технологий систем накопления электрической энергии для дальнейшего изучения вопросов их размещения в распределительных системах, а также функционирования при разных режимах работы и особенностях энергосистемы.

Изложение основного материала. Мировой рынок систем накопления энергии развивается стремительными темпами. Основным применением систем накопления в мировой практике является регулирование частоты и напряжения, обеспечение баланса мощности, выравнивание графика потребления и генерации электроэнергии, а также аккумулярование излишне вырабатываемой энергии возобновляемыми источниками энергии.

Если рассматривать электрическую систему, то накопление энергии в ней означает отложение потребления электрической энергии до момента позднего, чем момент ее производства, или преобразования электрической энергии в форму энергии, которая может сохраняться. Преобразование электрической энергии может быть осуществлено физическими, инерционными, химическими, водородными и другими технологиями. Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ), по сути, это оборудование, на котором осуществляется накопление энергии.

На сегодняшний день выделяют такие наиболее распространённые СНЭЭ:

- твердотельные аккумуляторы - ряд электрохимических накопителей, в том числе современные химические аккумуляторы и конденсаторы;

- проточные аккумуляторы - аккумуляторы, в которых энергия накапливается непосредственно в растворе электролита для увеличения срока службы и мгновенного срабатывания;

- маховики - механические устройства, использующие энергию вращения для мгновенной подачи электрического тока;

- система хранения энергии на основе сжатого воздуха;

- хранилище тепловой энергии - аккумулярование тепла и холода для создания энергии по требованию и ее выделение в удобное для потребителей время;

- насосная гидроаккумулирующая электростанция - создание и хранение энергии с использованием двух резервуаров с водой, расположенных на разных высотах;

- гравитационные накопители энергии - устройства, которые генерируют электричество, выпуская в случае необходимости тяжелый груз с определенной высоты;

- системы хранения энергии на основе преобразования энергии на газ (водород, биометан, синтез-газ и т.д.).

Если обобщить все вышеуказанные виды СНЭЭ, то можно применить более удобную классификацию:

- электрические;
- механические;
- магнитные;
- электрохимические;
- тепловые;
- термохимические;
- химические.

Проанализировав все существующие типы СНЭЭ, а также их область применения, было определено, что технология накопления электроэнергии позволяет:

1. Увеличить эффективность работы распределенных источников энергии на базе возобновляемых источников энергии (в связи с учетом погодных условий, когда нагрузка в сети отсутствует, применение СНЭЭ позволит увеличить объем выдаваемой мощности без модернизации схемы выдачи мощности).

2. Разделить во времени процессы производства и потребления электроэнергии (за счет накопления электроэнергии в ночное время, когда стоимость электроэнергии минимальна, и её выдачи в пиковые часы). Это позволит снизить объем резервных мощностей на углеводородном топливе, повысить эффективность работы генераторных установок электростанций, а также получить дополнительную прибыль от разности тарифов на электроэнергию.

3. Обеспечить требуемое качество электроэнергии (несинусоидальность напряжения, несимметрия напряжений в трёхфазной системе, медленные изменения напряжения, колебания напряжения, фликер, прерывания напряжения, провалы напряжения).

4. Увеличить пропускную способность сети (установка системы накопления электрической энергии позволит отложить мероприятия по модернизации электросетевых объектов).

5. Повысить динамическую устойчивость данной энергосистемы (за счет того, что в изолированных энергосистемах суммарная установленная мощность генерации на базе ВИЭ как генераторных установок или на базе ВИЭ как правило соизмерима с мощностью нагрузки).

6. Обеспечить резервное электроснабжение особо ответственных потребителей (в т.ч. собственных нужд подстанций и электрических станций).

7. Ликвидировать проблемы, связанные с компенсацией реактивной мощности (несоответствие коэффициента мощности $\cos\varphi$ требуемому, снижение напряжения в узлах сети).

8. Позволит сгладить пиковое потребление графика нагрузки и компенсировать резкопеременную нагрузку).

Область применения СНЭЭ приведена на рисунке 1.

Наиболее популярной технологией в электрических системах является литий-ионные батареи. По данным [5], по состоянию на начало 2019, литий-ионные батареи занимали долю в 90% на рынке СНЭЭ для электрических сетей. В настоящее время литий-ионные батареи используются абсолютно во всей домашней и портативной электронике. СНЭЭ с подсистемами накопления электрохимического типа (литий-ионная аккумуляторная батарея), предоставляют наибольшую доступную мощность, при этом требуя наибольшие капитальные затраты на единицу мощности и энергоемкости, обеспечивая средние значения КПД и срока службы.

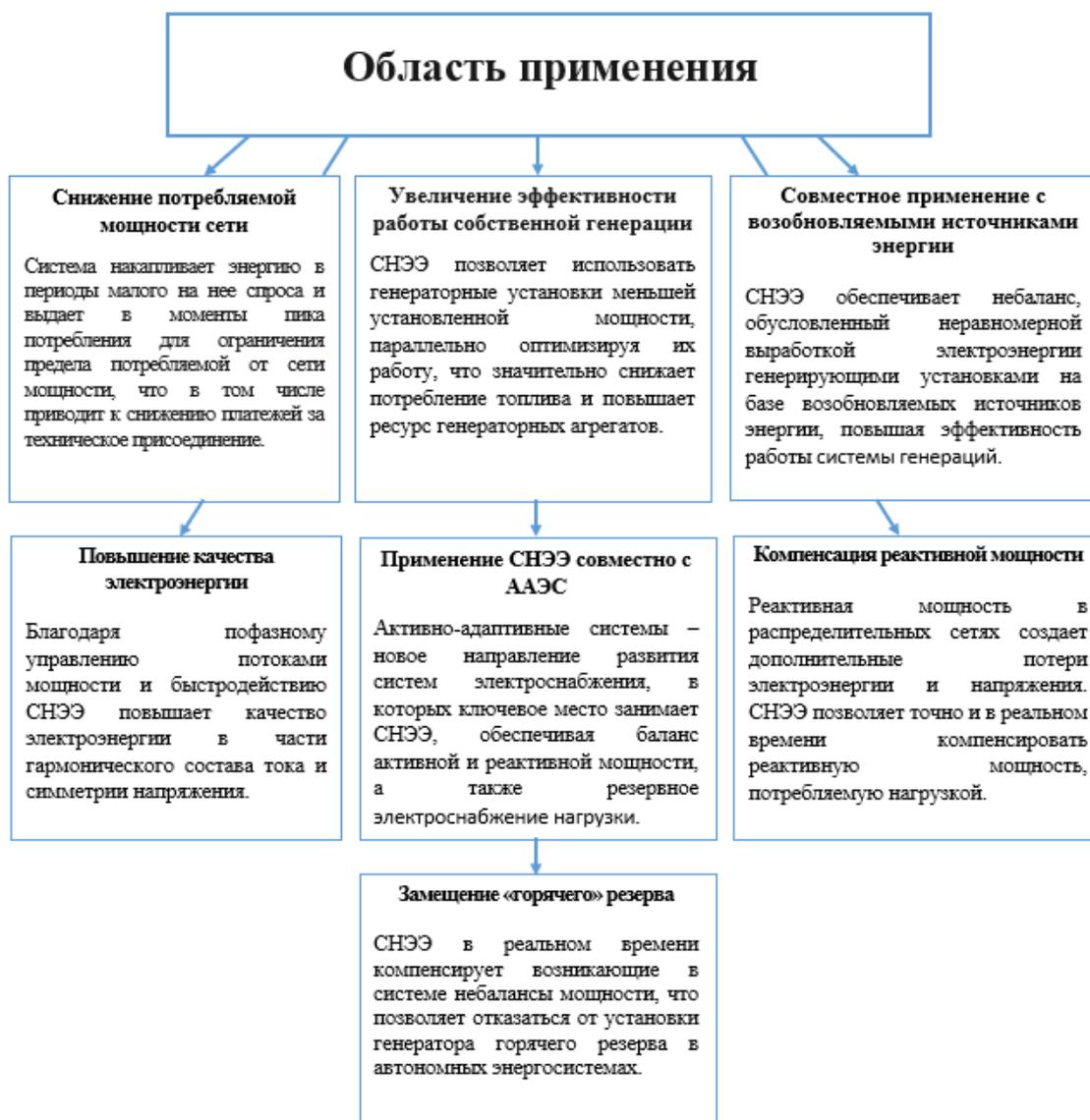


Рисунок 1 - Область применения СНЭЭ

Цены на литий-ионные батареи снижаются, их безопасность повышается, они хорошо себя показывают в системах, где необходимо большое количество энергии в течение короткого периода (силовые установки), и в системах, которые требуют меньшее количество энергии в течение более длительного периода. Таким образом литий-

ионные аккумуляторы подходят для хранения энергии любым потребителям — от крупных коммунальных предприятий, занимающихся передачей и распределением энергии до индивидуальных коммерческих и жилых объектов.

Важно отметить то, что не всегда эксплуатационные характеристики разных типов литий-ионных батарей соответствуют поставленным задачам (это происходит, когда для больших электростанций одна модель аккумулятора может быть на 80% эффективнее, чем другая из-за способности быстро заряжаться и разряжаться). А также, в некоторых частных случаях другие технологии могут работать лучше (для управления системой заряда и хранения энергии в жилых системах, свинцово-кислотные батареи могут оказаться более эффективными). Для крупномасштабных электростанций щелочные батареи являются более экономичными, но только для коротких периодов зарядки и разрядки (быстрее одного часа).

Накопители на основе аккумуляторных батарей большой энергоемкости считаются наиболее перспективными для использования в интеллектуальных электроэнергетических системах.

Выводы и предложения. Постоянная изменчивость производства электроэнергии возобновляемыми источниками энергии батареями приводит к тому, что системы хранения энергии становятся все более важным атрибутом систем энергообеспечения. Современные СНЭЭ — это комплексное решение, включающее в себя как накопители, так и программные решения, обеспечивающие контроль за состоянием накопителей и оптимальным распределением нагрузки.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что современное развитие преобразовательной и микропроцессорной техники, за счет применения интеллектуальных методов управления СНЭЭ, позволяет решать в электрических сетях много проблем как на уровне потребностей источников электроэнергии на базе возобновляемых источников энергии, так и исходя

из потребностей энергосистемы. Применение СНЭЭ позволит повысить эффективность транспортировки электрической энергии и производства электроэнергии на базе возобновляемых источников, а также способствует развитию и совершенствованию технической базы электроэнергетики.

Список литературы:

1. Глускин И.З., Дмитриева Г.А., Мисриханов М.Ш., Наровлянский В.Г., Якимец И.В. Сверхпроводниковые токоограничивающие устройства и накопители энергии для электроэнергетических систем. М.: Энергоатомиздат, 2002. - 373 с.
2. Астахов Ю.Н., Веников В.А., Тер-Газарян А.Г. Накопители энергии в электрических системах: Учеб, пособие для электроэнергетических спец. вузов. М.: Высшая школа, 1989. 157 с.
3. Новиков Н.Л. Повышение режимной надежности и управляемости объединённых энергосистем с помощью новых средств и систем управления: Дисс...докт. техн. наук. М. 2001. 503 с.
4. Курувита Араччиге Ч.У. Оптимизация размещения накопителей энергии в электрических сетях: Дисс...канд. техн. наук. М. 2000. 129 с.
5. Режим доступа: <https://www.eesi.org/papers/view/energy-storage-2019>.
6. Local Energy Balancing and Ancillary Services in Low-Voltage Networks With Distributed Generation, Energy Storage, and Active Loads Olek, B.; Wierzbowski, M. Industrial Electronics, IEEE Transactions on Year: 2015, Volume: 62, Issue: 4 Pages: 2499 – 2508.
7. Режим доступа: <https://dtek.com/ru/media-center/news/dtek-zapustil-pervuyu-v-ukraine-promyshlennuyu-sistemu-nakopleniya-energii/>.

Markelov M.M.

postgraduate student of the department of system analysis and operation research, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology

METHOD OF AUTOMATED SCHEDULING BY USING GREEDY ALGORITHM

Маркелов М.М.

Аспирант кафедры системного анализа и исследования операций, Сибирский Государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева

МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖАДНОГО АЛГОРИТМА

DOI: 10.31618/ESEA.2782-1994.2022.1.77.231

Summary. The paper proposes a method for automated scheduling. This method is based on applying a greedy algorithm to generate the first version of the employee schedule.

Аннотация. В работе предложен метод для автоматизированного составления расписания. Данный метод основан на применении жадного алгоритма для генерации первой версии расписания сотрудников.

Key words: scheduling, greedy algorithm, optimization problem, process automation.

Ключевые слова: составление расписания, жадный алгоритм, задача оптимизации, автоматизация процессов.

Введение

Планирование расписаний является одной из основных задач в области оказания услуг, а также производства. Особенно остро эта задача проявляется в случае, если сотрудники получают почасовую оплату труда.

Сотрудники должны быть на рабочем месте, когда должен произойти прирост клиентов или иных задач. При этом ради экономии средств предприятия не нужно, чтобы весь штат сотрудников находился на рабочем месте все время. Для соблюдения баланса между количеством задач на сотруднике и затрат на оплату их труда необходимо планировать расписание так, чтобы все рабочее время на рабочем месте находилось достаточное количество сотрудников.

Задача составления расписания усложняется тем, что у работников должно быть определенное количество смен, при этом смены имеют определенную длину, чтобы соблюдать трудовой договор с работником и трудовой кодекс. Помимо этого, важно, чтобы смена проходила на одном объекте, чтобы исключить перемещение сотрудников между объектами в рабочее время.

Отдельно стоит заметить, что расписание не может быть статичным. Оно должно иметь возможность быть модифицированным в зависимости от больничных, увольнений и прочих непредвиденных факторов.

Таким образом при составлении расписания необходимо учитывать множество факторов. И количество факторов, влияющих на расписание, растёт пропорционально количеству сотрудников.

Цель статьи.

Целью статьи является предложить алгоритм автоматизированного составления расписания, который будет учитывать большую часть факторов, при этом будет максимально эффективным по скорости составления и ручным трудозатратам сотрудников.

Часть 1.

Особенность процессов, основа которых содержится в распределении разнообразного типа ресурсов, в том числе и временных, постоянно значителен в необходимости рационализации результата с учётом условий психологического принятия. Иными словами, проблема составления расписания, кроме естественных запросов к непротиворечивости, заключающихся в отсутствии наложения работ друг на друга в какой-либо форме, усложнена потребностью считаться с интересами сторон, задействованных в реализации ключевых функций компании с использованием составленного расписания. При этом при увеличении числа сторон участвующих в деятельности компании, увеличивается и комплексность их интересов по отношению к составленному расписанию работ.

Процесс создания расписания требует учёта многих условий и рассмотрения большого количества вариантов решений. При составлении расписания в ручном режиме, в том числе с применением рационализированных алгоритмов, высока возможность погрешностей, вызванных человеческим фактором. Следствием этого является потребность задействования больших временных ресурсов ради недопущения либо исправления ошибок, а также упрощение способов составления расписания, а соответственно снижения к ним требований.

На данный момент нет единого решения, позволяющего учитывать все факторы и создавать расписание без участия человека. Существующие методы предусматривают автоматизированную генерацию первоначального расписания в той или иной степени близкого к оптимальному, которое в следствии дорабатывается в ручном режиме сотрудниками ответственными за составление.

При этом время применение автоматизированных систем позволяет использовать более ресурсоёмкие и комплексные алгоритмы анализа существующей информации и синтеза с её помощью расписания в краткие сроки без увеличения числа ошибок, появляющийся при реализации алгоритмов и потери их эффективности. Впрочем, при этом варианте решения задачи появляются свои недостатки, обоснованные невозможностью учёта алгоритмом всех возможных условий, влияющих на итоговый вид расписания.

Таким образом, более эффективным решением является применение комбинированного подхода. При нём изначальное расписание генерируется при помощи автоматизированных алгоритмов, что позволяет первую версию расписания для последующей модификации, учитывающую ключевые условия к расписанию, такие как непротиворечивость, соблюдение трудового кодекса и так далее. Затем, сотрудник ответственный за составление расписания, может проводить коррекцию сгенерированного расписания, вручную подгоняя под особенности конкретной компании. подобный подход позволяет снизить нагрузку на сотрудников отдела расписания, снимая с него потребность формирования итого расписания, и в это же время предоставляет возможность составления расписания, максимально предусматривающего вероятные условия.

Часть 2.

Для создания эффективного расписания необходимо составление целевой функции, которую в дальнейшем необходимо применить в алгоритмах оптимизации. Исходная функция должна базироваться на входящих, в проектируемую информационную систему, потоках информации. Кроме этого, она должна

основываться на типе используемого метода оптимизации.

В качестве метода общей оптимизации расписания предлагается использование «Жадного» алгоритма, заключающегося в принятии локально оптимальных решений на каждом шаге, допуская, что конечное решение также будет оптимальным. Локально-оптимальное решение на каждом шаге обнаруживается составительным путём на основе оценок, выдаваемых информационной системой каждому из решений, в зависимости от степени его соответствия условиям к элементам расписания. Поиск локально-оптимального решения выполняется посредством нахождения максимума для элемента расписания.

Применение жадного алгоритма позволяет прийти к оптимальному решению задачи через осуществление череды выборов. На каждой развилке, где принимается решение, в алгоритме осуществляется выбор, который в данной ситуации является наиболее эффективным по сравнению с остальными вариантами. Данная эвристическая стратегия может не привести к глобально-оптимальному решению, но при этом она так же может привести и к глобально-оптимальному решению.

Для создания жадного алгоритма необходимо пройти следующие этапы:

1. Определить максимально эффективную подструктуру задачи.
2. Разработать рекурсивное решение на основе определенной подструктуры задачи.
3. Доказать, что на каждом из возникающих этапов выбора один из наиболее эффективных выборов является жадным. Следствием этого является, что каждый выбор может быть жадным.
4. Показать, что все возникающие в результате жадного выбора подзадачи, кроме одной, — пусты.
5. Разработать рекурсивный алгоритм, который будет реализовывать жадную стратегию.
6. Преобразовать алгоритм в итеративный из рекурсивного.

Жадный алгоритм имеет наибольшую ценность если его применять в случаях, когда требуется получить решение в максимально сжатые сроки, при этом приблизительные решения удовлетворяют требуемой точности к результату. Принято считать, что жадный алгоритм использует минимальное время, требуемое на проведение всех расчетов, при этом обеспечивая эффективное решение. Поэтому его применение наиболее целесообразно в случае, когда время на принятие решения ограничено естественными или искусственными факторами.

Часть 3.

В текущей реализации алгоритм для составления расписания сотрудников реализован через следующие 6 этапов:

1) Создание базы данных, содержащей подробную информацию о всех имеющихся

сотрудниках, о их трудовых договорах, о нормативном количестве смен и необходимую информацию из трудового кодекса.

2) Составление на основе данных из предыдущего этапа двумерного массива, представляющего из себя матрицу сотрудников в соответствии с объектами, где они могут работать, минимальной и максимальной продолжительностью смены и ролью, которую может выполнять сотрудник на объектах.

3) Создание дополнительной базы данных, содержащей информацию о объектах, ролях сотрудников, количестве необходимых сотрудников в зависимости от роли и графике работы на объекте.

4) Первичная расстановка сотрудников в автоматическом режиме так, чтобы на объектах была одинаковая заполненность сотрудниками, при этом, не нарушая ограничения по перемещению сотрудников между объектами в течении дня и прочими ограничениями из этапа 2.

5) Сохранение первичного расписания для дальнейшей ручной корректировки ответственным сотрудником.

6) Ручное редактирование расписания, в случае если алгоритм не нашел глобально-оптимальное решение. Так же проверка на адекватность полученного расписания, если при первичной расстановке произошел сбой.

Допускается возврат к 4му этапу, если в ходе ручного редактирования было обнаружено большое количество неоптимальных решений. Повторная генерация первичного расписания позволит получить иное решение, которое может быть ближе к истинно-оптимальному.

Применение подобного алгоритма в информационной системе для автоматизированного составления расписания благоприятно сказывается на скорости составления расписания. Помимо этого, данный алгоритм работы позволяет сократить ручной труд сотрудников. Так же, как следствие из предыдущих двух утверждений, может следовать сокращение штата сотрудников составляющих расписание, если компания является достаточно большой по количеству сотрудников в отделе расписания.

Помимо этого, применение данного алгоритма может помочь сотрудникам в случае необходимости срочной корректировки в случае изменения входной информации. К примеру, если сотрудник ушел на больничный и не может выйти на смену, информационная система, основанная на этом алгоритме, способно быстро пересчитать расписание и предоставить новый вариант на время, пока сотрудник не выйдет с больничного.

Заключительная часть

Составление расписания является очень трудоемкой задачей даже для продвинутых специалистов данной области. Учет большого числа факторов, влияние случайностей на возможность реализации уже готового расписания, готовность к срочным корректировкам и

постоянное изменение вводной информации оказывает большое влияние на сложность данной задачи.

Предложенный алгоритм автоматизированного составления расписания позволяет сократить трудозатраты на составление расписания смен сотрудников, работающих на объектах компании.

Жадный алгоритм, лежащий в основе автоматизированной части алгоритма составления расписания, позволяет получать первоначальную версию расписания, которая будет близка к оптимальному. При этом данный алгоритм обладает высокой производительностью, что позволяет получить первоначальную версию расписания в короткие сроки.

Список литературы

1. Самсонова Н. В., Симонов А. Б. Составление расписания в высшем учебном

заведении: математические методы и программные продукты // E-Management. 2018. №1.

2. Галаванова Ю. И. Обзор современных методов в автоматизации составления расписания в организациях общего образования // Достижения науки и образования. 2018. №3 (25).

3. Игошин В. И. Математическая логика и теория алгоритмов: учеб. Пособие для студ. высш. учеб. Заведений. –2-е изд., стер. –М.: Издательский центр «Академия», 2008. –448 с

4. Чеботарев В.Е., Косенко В.Е. Проектирование информационных систем: учебное пособие. К.: СГАКУ, 2015. —448 с.

5. Кормен, Т., Лейзерсон, Ч., Ривест, Р., Штайн, К. Алгоритмы: построение и анализ — 2-е изд. — М.: Вильямс, 2005. — 1296 с.

6. Маркелов, М. М. Управление нагрузкой на операторов в системах массового обслуживания с использованием интеллектуального анализа данных// Восточно-Европейский научный журнал. – 2021. – № 1-4(65). – С. 54-57.

УДК 004.421

Плетнев Андрей Владимирович

*Независимый исследователь,
Директор ТОО «SimCo Soft»,*

*Руководитель группы разработки ТОО «OneBill»,
Республика Казахстан, г. Алматы*

ОРГАНИЗАЦИЯ РАЗГРАНИЧЕНИЯ ДОСТУПА ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ К ФУНКЦИОНАЛУ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ.

Pletnev Andrey Vladimirovich

*Independent researcher,
CEO «SimCo Soft» LLP,*

*Team lead «OneBill» LLP,
Republic of Kazakhstan, Almaty city.*

ORGANIZATION OF USER ACCESS DIFFERENTIATION TO INFORMATION SYSTEM FUNCTIONALITY.

DOI: 10.31618/ESSA.2782-1994.2022.1.77.232

Аннотация. Данная статья предлагает практическое руководство по организации разграничения доступа пользователей к функционалу информационной системы на основе усовершенствованной автором классической схемы Ролевой Модели управления доступом пользователей. Даются рекомендации по внедрению предлагаемой системы разграничения доступа в информационную систему. Кратко затрагивается особенность построения механизма аутентификации пользователей с использованием web-токенов в контексте предлагаемой системы.

Abstract. This article offers practical guide on how to organize user access differentiation to information system functionality on the basis of the author's improvement of the classical scheme of the Role Model of user access control. Recommendations on the implementation of the proposed system of access differentiation in the information system are given. The peculiarities of the construction of the mechanism of user authentication using web-tokens in the context of the proposed system are briefly touched upon.

Ключевые слова: ролевая модель доступа, информационные системы, web-технологии, web-токен, backend, frontend.

Keywords: role model access, information systems, web-technologies, web-token, backend, frontend.

Введение

При проектировании информационной системы (ИС) перед системными архитекторами и разработчиками программного обеспечения, наряду с задачами по реализации основного бизнес-функционала ИС, также стоит задача по

обеспечению информационной безопасности [5] разрабатываемой ИС. Одним из методов обеспечения информационной безопасности является ограничение доступа к информации, которое включает применение *Механизмов Аутентификации Пользователей (МАП) и Систем*

Разграничения Доступа Пользователей (СРДП) к функционалу и ресурсам ИС. МАП позволяет ограничить круг пользователей ИС – в систему сможет войти только тот пользователь, учетная запись для которого существуют в базе данных ИС и эта запись имеет разрешение на вход пользователя. СРДП определяет права зарегистрированных пользователей на доступ к той или иной информации внутри ИС, а также права на создание и изменение этой информации. В настоящее время для программной реализации этих механизмов для всех популярных языков программирования существует множество готовых библиотек и модулей, каждая из которых решает узкий круг задач. Одна библиотека реализует МАП, другая – механизмы СРДП. Одна предназначена для работы в составе серверного backend, другая – на клиентском frontend. При этом, комплексного решения не существует и каждый разработчик ИС использует свой набор библиотек и модулей, а также способы их связывания между собой для реализации поставленных задач по аутентификации пользователей и разграничения их доступа к ресурсам внутри ИС. К основным недостаткам практики использования множества сторонних библиотек и модулей в большинстве случаев можно отнести:

- слабую связанность подключаемых библиотек и модулей между собой;
- избыточную или недостаточную функциональность;
- отсутствие каких-либо гарантий дальнейшей поддержки библиотеки или модуля и их совместимости с используемым окружением в будущем с развитием языка программирования и/или технологий.

В данной статье я хочу представить свое решение данной задачи с использованием всего одной подключаемой сторонней библиотеки на стороне серверного backend и реализующей функционал МАП. Для реализации механизмов СРДП никакие дополнительные библиотеки не потребуются. Данное решение я неоднократно и успешно применял при разработке клиент-серверных [3] ИС самого разного назначения: от простых CRM до Систем корпоративного документооборота и Панелей Управления Платежными Системами. Это означает, что описанные методы реализации СРДП применимы к любому типу ИС, разрабатываемых с применением любого технологического стека [2].

Организация СРДП

Для организации СРДП к функционалу ИС я в своих проектах использую классическую схему *Ролевой Модели* (РМ) с небольшими, но функционально существенными доработками.

Итак, классическая схема РМ предполагает, что СРДП в ходе своей работы оперирует тремя сущностями данных: *Пользователь*, *Роль* и *Ресурс*. Понятие «Ресурс» в данном случае следует трактовать как совокупность локального бизнес-

функционала ИС, относящегося к управлению данными одной бизнес-сущности внутри этой ИС, например: «Справочник контрагентов», «Справочник Терминалов», «Управление пользователями», «Отчеты», «Просмотр статистики» и т.п. Каждому Пользователю ИС может быть назначена одна или несколько Ролей, а каждая Роль может включать один или несколько Ресурсов ИС. Одновременно с этим: одна Роль может быть назначена нескольким Пользователям, а один Ресурс может принадлежать нескольким Ролям. Таким образом каждый Пользователь обеспечивается определенным набором Ресурсов, доступных ему внутри ИС. Теоретическую базу по теме РМ в СРДП можно изучить в [4], [6] и [8].

Основным недостатком классической РМ можно считать ее недостаточную гибкость в некоторых ситуациях, когда, например, для одной Роли нужно дать полный доступ к определенному Ресурсу, а для другой Роли – доступ только на просмотр данных этого же Ресурса и т.п.

Предлагаемые мной доработки классической схемы РМ включают следующее:

1. Иерархическая организация Ресурсов. Данная практика позволит выполнять группировку Ресурсов ИС по функциональным разделам. Например: «Справочники», «Отчеты», «Документы», «Статистика» и т.п. Практическим применением данного решения является возможность автоматической генерации содержимого главного меню ИС с учетом имеющихся у текущего пользователя прав доступа к Ресурсам ИС и выдача его во frontend для отображения этому пользователю. При этом разработчику frontend нет необходимости вести в проекте разработку главного меню ИС, вместо этого он будет получать готовое содержимое этого меню с сервера;

2. Добавление дополнительной сущности «*Действия*» в структуру данных механизма СРДП. Сущность «*Действия*» определяет набор атрибутов доступа к Ресурсам ИС, например: «чтение\просмотр данных», «добавление записей», «изменение записей», «удаление записей» и «восстановление записей». Эти атрибуты ассоциируются с Ресурсом, а их значения определяются при установлении связи Ресурса и Роли. Таким образом, мы получаем следующую схему взаимосвязи сущностей в СРДП: *Пользователь – Роль – Ресурс – Действия*, в которой каждый Ресурс может наделяться собственным набором Действий;

3. Внести небольшие доработки в код backend и frontend ИС с целью обеспечения полного функционирования предлагаемой СРДП (см. далее).

На основании требований, предъявляемых к реализации классической РМ и усовершенствований, введенных в нее, можно построить схему данных, представленную на Рисунке 1.

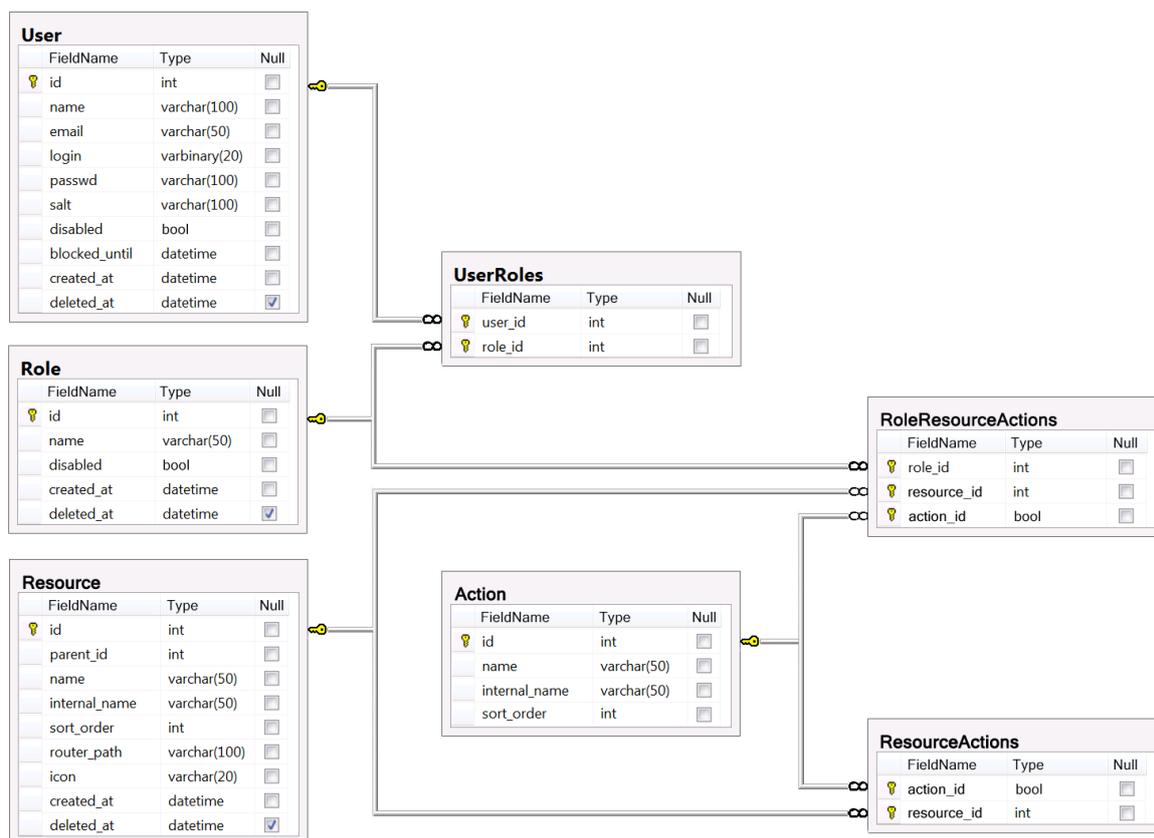


Рисунок 1. Схема данных для СРДП

Данная схема демонстрирует сущности доработанной РМ, задействованные в предлагаемой СРДП и связи между ними, а также пример их реализации на реляционной базе данных [1]. По структуре данных представленной на Рисунке 1 видно, что список Действий может свободно дополняться разработчиком ИС новыми элементами, потребность в которых может возникнуть с учетом всего огромного разнообразия функционала разрабатываемой ИС, а не только обычные «чтение», «запись» и «удаление». Теперь давайте разберем назначение каждой из представленных таблиц и полей в них.

User – имплементирует сущность «Пользователь». Хранит учетные записи Пользователей ИС и используется в МАП ИС. Назначение полей таблицы **User**:

- **id** – Идентификатор пользователя. Автоинкрементное поле;
- **name** – ФИО пользователя;
- **email** – Адрес электронной почты пользователя;
- **login** – Логин пользователя;
- **passwd** – Хэш пароля пользователя;
- **salt** – Зашифрованный Секретный ключ для подписи токена (см. раздел «Аутентификация пользователя ИС»);
- **disabled** – Блокировка пользователя;

- **blocked_until** – Блокировка пользователя до указанной даты и времени;
- **created_at** – Дата и время создания записи;
- **deleted_at** – Дата и время удаления записи.

Role – имплементирует сущность «Роль». Хранит список Ролей Пользователей ИС. Назначение полей таблицы **Role**:

- **id** – Идентификатор роли. Автоинкрементное поле;
- **name** – Имя роли;
- **disabled** – Блокировка роли;
- **created_at** – Дата и время создания записи;
- **deleted_at** – Дата и время удаления записи.

Resource – имплементирует сущность «Ресурс». Хранит упорядоченный иерархический список Ресурсов ИС, доступ к которым нужно предоставлять/ограничивать Пользователям ИС. Кроме этого, на основании данных этой таблицы, как упоминалось выше, серверный backend ИС выдает список пунктов главного меню, доступных Пользователю, для отображения на frontend ИС. Доступ на внесение и правку данных этой таблицы должен быть только у разработчика ИС. Данные, внесенные в эту таблицу, должны быть согласованы с разработчиком frontend ИС. Назначение полей таблицы **Resource**:

- **id** – Идентификатор Ресурса. Автоинкрементное поле;

– **parent_id** – Идентификатор родительского Ресурса;

– **name** – Наименование Ресурса;

– **internal_name** – Внутреннее служебное имя Ресурса. Уникальный строковый идентификатор Ресурса. Используется механизмами СРДП на backend (см. раздел «Механизмы проверки действий Пользователя на сервере»). Может использоваться как идентификатор строкового ресурса в модуле интернационализации на frontend – в данном случае значение этого параметра обязательно должно быть согласовано с разработчиком и/или специалистом по интернационализации frontend ИС;

– **sort_order** – Порядок сортировки при отображении в меню на frontend;

– **router_path** – Путь к пользовательскому интерфейсу Ресурса в локальном роутере frontend. Значение данного параметра обязательно должно быть согласовано с разработчиком frontend ИС;

– **icon** – Иконка, отображаемая для пункта меню на frontend;

– **created_at** – Дата и время создания записи;

– **deleted_at** – Дата и время удаления записи.

Action – имплементирует сущность «Действие». Хранит стандартные и определяемые разработчиком ИС дополнительные Действия. Доступ на внесение и правку данных этой таблицы должен быть только у разработчика ИС. Данные, внесенные в эту таблицу, должны быть согласованы между разработчиками ИС. Назначение полей таблицы **Action**:

– **id** – Идентификатор Действия. Автоинкрементное поле;

– **name** – Наименование Действия (Например: *чтение, запись, удаление, восстановление, просмотр информации о записи*);

– **internal_name** – Внутреннее служебное имя Действия. Уникальный строковый идентификатор Действия, соответствующий по смыслу его Наименованию (например: *read, write, delete, restore, info*). Используется механизмами СРДП на backend и frontend. Кроме этого, может использоваться как идентификатор строкового ресурса в модуле интернационализации на frontend. Значение этого параметра обязательно должно быть согласовано с разработчиком backend и с разработчиком и/или специалистом по интернационализации frontend ИС;

– **sort_order** – Порядок сортировки при отображении на frontend.

UserRoles – имплементирует связь сущностей «Пользователь» и «Роль» в отношении *многие-ко-многим*: одна Роль может быть назначена одному или нескольким Пользователям, а Пользователь может иметь одну или несколько Ролей. Все разрешенные Действия на связанных с Ролью Ресурсах будут доступны Пользователю, которому назначена эта Роль. Добавление записи в таблицу **UserRoles** устанавливает связь Пользователя и

Роли, идентификаторы которых были использованы для добавления записи. Для прекращения действия установленной связи необходимо просто удалить нужную запись из таблицы. Назначение полей таблицы **UserRoles**:

– **user_id** – Идентификатор Пользователя. Внешний ключ к таблице **User**;

– **role_id** – Идентификатор Роли. Внешний ключ к таблице **Role**.

ResourceActions – имплементирует связь сущностей «Ресурс» и «Действие» в отношении *многие-ко-многим*: одно Действие может быть назначено одному или нескольким Ресурсам, а Ресурс может иметь одно или несколько Действий. Добавление записи в таблицу **ResourceActions** устанавливает связь Действия и Ресурса, идентификаторы которых были использованы для добавления записи. Установленные связи будут определять, какие Действия будут доступны на Ресурсе при установке связей Роль-Ресурс (см. **RoleResourceActions** ниже). Для прекращения действия установленной связи необходимо просто удалить нужную запись из таблицы. Назначение полей таблицы **ResourceActions**:

– **resource_id** – Идентификатор Ресурса. Внешний ключ к таблице **Resource**;

– **action_id** – Идентификатор Действия. Внешний ключ к таблице **Action**.

RoleResourceActions – имплементирует связь сущностей «Роль» и «Ресурс» в отношении *многие-ко-многим*: один Ресурс может быть назначен одной или нескольким Ролям, а Роль может включать доступ к одному или нескольким Ресурсам. Кроме этого, данная таблица имплементирует определение разрешенного Действия для установленной связи Роль-Ресурс. Для определения нескольких Действий для установленной связи Роль-Ресурс необходимо добавить соответствующее количество записей с нужными идентификаторами Роли, Ресурса и Действия. Для отмены разрешенного Действия для установленной связи Роль-Ресурс, необходимо просто удалить нужную запись из таблицы. Назначение полей таблицы **RoleResourceActions**:

– **role_id** – Идентификатор Роли. Внешний ключ к таблице **Role**;

– **resource_id** – Идентификатор Ресурса. Внешний ключ к таблице **Resource**;

– **action_id** – Идентификатор Действия. Внешний ключ к таблице **Action**. Определяет разрешенное Действие для Роли на указанном Ресурсе.

Управление доступом пользователей внутри ИС

Всей структурой данных, описанной выше для использования в предлагаемой СРДП, теперь нужно как-то управлять. Для этого в ИС выделяют специальный раздел для Администратора Системы и создают в нем все необходимые формы и прочие элементы пользовательского интерфейса, предназначенные для управления системными параметрами и свойствами ИС, в том числе и для

управления Пользователями, а также их доступом к Ресурсам ИС. Такой раздел ИС принято называть *Панелью Администратора*. При этом следует понимать, что «Администратор Системы» – это такой же пользователь ИС, как и все остальные, но наделенный правами доступа в *Панель Администратора*. Таким образом, исходя из предлагаемой СРДП, любой пользователь может стать Администратором Системы, а у любого такого Администратора может быть разный уровень доступа к элементам *Панели Администратора*.

Для обеспечения управления описанной структурой данных в *Панели Администратора* Вашей ИС необходимо выполнить следующее:

1. Создать справочник «Действия»;
2. Создать справочник «Ресурсы». Ресурсы в справочнике отображать в виде отсортированного иерархического списка, согласно тому, как они записаны в таблице *Resource* базы данных. Для удобства желательно обеспечить перемещение элементов для изменения порядка их сортировки, а также по уровням иерархии путем перетаскивания мышью. Если на frontend Вашей ИС используется модуль интернационализации, задействуйте поле *internal_name*, возвращаемое сервером из таблицы *Resource* в качестве идентификатора строки для получения перевода наименований Ресурсов из словарей модуля интернационализации;
3. Создать раздел «Роли пользователей», в котором реализовать:

- создание новой Роли;
- изменение наименования существующей Роли;

– выбор Действий у необходимых Ресурсов для включения соответствующих доступов в выбранную Роль. Пример реализации пользовательского интерфейса для определения доступов Роли к Действиям на Ресурсе представлен на Рисунке 2. В данном интерфейсе необходимо реализовать отображение Действий слева направо в порядке возрастания значения поля *sort_order*, возвращаемое из таблицы *Action*. Если на frontend Вашей ИС используется модуль интернационализации, задействуйте поле *internal_name*, возвращаемое сервером из таблицы *Action* в качестве идентификатора строки для получения перевода наименований Действий из словарей модуля интернационализации;

4. В разделе управления пользователями:
 - на стороне backend, при создании нового пользователя, обеспечить генерацию секретного ключа, его шифрование и сохранение полученного значения в поле *salt* таблицы *User* (см. Рисунок 1);
 - на форме создания/редактирования Пользователя добавить вкладку, где Администратор ИС будет назначать Роли для Пользователя путем выбора одной или нескольких Ролей из списка;

Statistics	<input checked="" type="checkbox"/>					
Actual Statistics	<input checked="" type="checkbox"/>					
Sales	<input type="checkbox"/>					
Directories	<input checked="" type="checkbox"/>					
Partners	<input checked="" type="checkbox"/>					
Customers	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Branches	<input checked="" type="checkbox"/>					
Products	<input checked="" type="checkbox"/>					
Reports	<input type="checkbox"/>					
Proceeds	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
Branch turnovers	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Orders	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
Taxes	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
Administering	<input checked="" type="checkbox"/>					
System status	<input checked="" type="checkbox"/>					
Mailing list settings	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			
User management	<input checked="" type="checkbox"/>					
Users	<input checked="" type="checkbox"/>					
User roles	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Resources	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Actions	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Рисунок 2. Пример реализации пользовательского интерфейса для конфигурирования доступов Роли к Действиям на Ресурсах в Панели Администратора ИС

Аутентификация пользователя ИС

В последнее время широкое распространение получил способ аутентификации пользователя с использованием токенов доступа, называемых также web-токенами. Токены создаются сервером, подписываются *секретным ключом* и передаются клиенту, который в дальнейшем использует данный токен для подтверждения своей личности. Наиболее популярным в данной сфере является стандарт JSON Web Token (JWT) [9]. Его я и рекомендую использовать для реализации МАП в Вашей ИС. На странице jwt.io/libraries вы сможете подобрать наиболее подходящую библиотеку для работы с JWT для используемого Вами языка программирования на стороне backend. К слову, эта та самая библиотека, которая упоминалась в начале статьи, как единственная сторонняя библиотека, подключаемая в проект ИС для реализации МАП. Также на сайте проекта jwt.io вы сможете найти всю необходимую документацию, описание стандарта и примеры использования подключаемых библиотек.

Основным преимуществом использования web-токенов в контексте рассматриваемой темы является возможность включения в тело создаваемого токена полезной нагрузки (payload), скрытой от посторонних глаз применяемыми стандартом JWT алгоритмами шифрования. Используем эту возможность.

В проекте backend Вашей ИС сделайте следующее:

1. Добавляйте идентификатор авторизовавшегося пользователя в структуру payload при создании токена – этот идентификатор потребуется в работе механизмов СРДП (см. раздел «Механизмы проверки Действий Пользователя на стороне сервера»);

2. В качестве *секретного ключа* для подписи создаваемого токена используйте предварительно расшифрованное значение поля salt учетной записи авторизовавшегося пользователя (см. Рисунок 1).

В проекте frontend Вашей ИС необходимо выполнить следующие работы:

1. Добавьте в проект страницу с формой авторизации Пользователя и создайте маршрут к ней в локальном роутере;

2. Организуйте отправку данных с формы авторизации Пользователя на сервер, а также обработку и отображение ошибок процесса аутентификации;

3. В случае успешной аутентификации Пользователя сохраняйте полученный токен и, если есть, по необходимости, другие данные из ответа сервера в локальное хранилище браузера (local storage) и перенаправьте Пользователя на главную страницу ИС;

4. Добавьте в проект страницу «В доступе отказано» и создайте маршрут к ней в локальном роутере;

5. Используйте сохраненный в локальном хранилище браузера токен при отправке каждого запроса к Ресурсам ИС, требующим авторизованного доступа. В случае, когда на такой

запрос от сервера получен ответ с кодом состояния HTTP* 401, перенаправьте Пользователя на страницу с формой авторизации. В случае, когда на такой запрос от сервера получен ответ с кодом состояния HTTP 403, перенаправляйте Пользователя на страницу «В доступе отказано», либо отображайте всплывающее сообщение об отсутствии прав доступа.

* Список всех кодов состояния HTTP можно изучить на страничке Википедии [7];

Механизмы ограничения действий Пользователя на клиенте

Первую линию обороны от несанкционированных действий Пользователя в контексте СРДП представляют правильно реализованные механизмы ограничения таких действий на frontend (клиентской стороне) ИС. Их всего три, а именно:

1. После успешного выполнения авторизации Пользователя и перехода на главную страницу ИС в Вашем frontend необходимо выполнить запрос содержимого главного меню с сервера и отобразить его пользователю. Сервер возвратит только те пункты меню, Ресурсы которых входят в ассоциированные и не заблокированные Роли Пользователя, у которых в списке разрешенных Действий есть, как минимум, разрешение на просмотр данных. Сохраните полученные данные с содержимым главного меню в хранилище состояний (Store) Вашего frontend. Если на frontend Вашей ИС используется модуль интернационализации, задействуйте поле **internal_name**, возвращаемое сервером из таблицы **Resource** в качестве идентификатора строки для получения перевода наименований Ресурсов (пунктов меню) из словарей модуля интернационализации;

2. При переходе в один из пунктов меню frontend, согласно инструкции локального роутера, выполняет переход на страницу, где, как правило, реализован функционал по управлению данными одной из множества бизнес-сущностей (Ресурсов) ИС. Данный функционал, как правило, реализован в виде табличного представления данных Ресурса и несколько кнопок для управления этими данными: чаще всего «Добавить», «Изменить» и «Удалить». При переходе на такую страницу frontend запрашивает с сервера ИС и получает в ответе данные Ресурса для отображения их в табличном виде. Кроме этих данных сервер возвращает список разрешенных для этого Ресурса Действий, определенных для текущего Пользователя через его не заблокированные Роли. На основании полученного списка разрешений frontend отображает, либо скрывает кнопки управления данными Ресурса, идентифицируя их по значению поля **internal_name**, передаваемого сервером из таблицы **Action** через установленные связи между сущностями СРДП в базе данных (см. Рисунок 1);

3. Добавьте в локальный роутер функцию-обработчик события, срабатывающего непосредственно перед переходом по локальному

маршруту. В этой функции выполните проверку наличия целевого маршрута в хранилище состояний (Store), где ранее были сохранены данные с содержимым меню. В случае отсутствия целевого маршрута среди данных в хранилище состояний следует прервать переход по такому маршруту и повторно запросить с сервера и отобразить содержимое главного меню.

Механизмы проверки действий Пользователя на сервере

Вторую линию обороны от несанкционированных действий Пользователя в контексте СРДП занимают механизмы проверки его действий, реализованные на стороне сервера ИС. Данные механизмы необходимы для соблюдения строгих норм информационной безопасности в части ограничения доступа к информации, например:

- в случаях, когда Администратор ИС в одной из Ролей удалил разрешение на какое-то Действие или вообще заблокировал одну из Ролей или заблокировал учетную запись Пользователя, а Пользователю на frontend об этом еще «не известно» (Пользователь перешел на страницу Ресурса до отмены Администратором разрешений и не обновлял страницу);

- в случаях, когда не в меру любознательный Пользователь или злоумышленник, используя инструменты разработчика, встроенные в браузер, разобрался с тем, как frontend работает с API backend'а и пытается слать беспорядочные запросы на сервер;

- в случаях, когда злоумышленник, используя инструменты разработчика, встроенные в браузер, смог вмешаться в код Вашего frontend и изменить состояния элементов управления или смог изменить значения переменных в хранилище состояний, позволившие ему выполнить некоторые действия, которые ему до этого были недоступны в силу отсутствия необходимых доступов.

Всех этих ситуаций можно избежать, реализовав в коде backend пару простых функций, образующих вместе надежный механизм проверки действий Пользователя:

1. Реализуйте функцию для извлечения идентификатора Пользователя из секции payload передаваемого frontend'ом токена. Назовем эту функцию **ExtractUID**. В качестве параметра функция будет принимать строку токена Пользователя, а в качестве результата возвращать извлеченный идентификатор этого Пользователя;

2. Реализуйте функцию для проверки наличия у Пользователя разрешения на выполнения Действия для указанного Ресурса. Назовем эту функцию **UserPermissionCheck**. В качестве параметров функция будет принимать три параметра: идентификатор пользователя, строковый идентификатор Ресурса (значение поля **internal_name** из таблицы **Resource**) и строковый идентификатор Действия (значение поля **internal_name** из таблицы **Action**). Используя полученные значения входных параметров,

функция **UserPermissionCheck** выполняет запрос к базе данных, который проверяет наличие соответствующих записей в таблицах **RoleResourceActions** и **UserRoles**, а также не заблокирована ли учетная запись Пользователя и его Роль/Роли (см. Рисунок 1). В случае наличия нужных записей в указанных таблицах и отсутствии блокировок, функция **UserPermissionCheck** возвратит **true**, иначе – **false**;

3. Поместите вызов **ExtractUID** в самом начале каждого обработчика запроса к методам всех Ресурсов. В случае ошибки следует прервать дальнейшую обработку запроса и вернуть во frontend ответ с кодом статуса HTTP 401. В случае успешного извлечения идентификатора пользователя, следует сохранить результат выполнения функции **ExtractUID** в переменную, например – **uid**;

4. Сразу после этого вызывайте функцию **UserPermissionCheck**, передав в нее значение переменной **uid**, строковый идентификатор Ресурса и строковый идентификатор Действия, соответствующие вызываемому методу. Например: **UserPermissionCheck(uid, 'branches', 'view')**. Если функция вернет **false**, следует прервать дальнейшую обработку запроса и вернуть во frontend ответ с кодом статуса HTTP 403.

Заключение

Предложенная в этой статье методика позволит реализовать СРДП к Ресурсам Вашей ИС с максимальной детализацией прав доступа, вплоть до каждой отдельной кнопки на интерфейсе пользователя ИС. Представленные доработки классической РМ, а также механизмы ограничения и проверки действий Пользователя, позволят получить разработчикам и архитекторам ИС основу для разработки собственной СРДП и ее дальнейшего совершенствования под свои нужды.

Список литературы

1. Кириллов В. В., Громов Г. Ю. Введение в реляционные базы данных. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009.
2. Плетнев А.В. Выбор технологического стека для it-проекта / Интернаука: электрон. научн. журн. 2021. № 36(212). / [Электронный ресурс]. URL: <https://internauka.org/journal/science/internauka/212> (дата обращения: 11.11.2021).
3. Клиент-сервер. / [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Клиент_—_сервер (дата обращения: 02.09.2021).
4. Курс лекций Защита Информации/Ролевая модель. / [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikibooks.org/wiki/Курс_лекций_Защита_Информации/Ролевая_модель (дата обращения: 12.11.2021).
5. Белов Максим. Основы и способы информационной безопасности в 2017 году / [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/344294/> (дата обращения: 07.11.2021).

6. Севастьянова Людмила. Строим ролевую модель управления доступом. / [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/company/solarsecurity/blog/509998/> (дата обращения: 10.11.2021).

7. Список кодов состояния HTTP. / [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_кодов_состояния_HTTP (дата обращения: 03.11.2021).

8. Управление доступом на основе ролей. / [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Управление_доступом_на_основе_ролей (дата обращения: 02.11.2021).

9. JSON Web Token. / [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/JSON_Web_Token (дата обращения: 12.11.2021).

УДК 685.34.03

Shestov A.V.

*Candidate of Economic Sciences, Associate Professor
of the Department of Road Economy
Moscow Automobile and Road Construction
State Technical University*

TECHNOLOGY FOR OBTAINING SPECIAL LEATHERS WITH IMPROVED PERFORMANCE CHARACTERISTICS, RESISTANT TO OIL AND PETROLEUM PRODUCTS

Шестов Андрей Владимирович

*кандидат экономических наук,
доцент кафедры «Экономика дорожного хозяйства»
Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет*

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ КОЖ С УЛУЧШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ, УСТОЙЧИВЫХ К ВОЗДЕЙСТВИЮ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

DOI: [10.31618/ESSA.2782-1994.2022.1.77.233](https://doi.org/10.31618/ESSA.2782-1994.2022.1.77.233)

Summary. A technology is proposed for obtaining leathers for the uppers of special footwear intended for employees of oil-producing enterprises. Leathers for uppers made from cattle skins produced by this technology are distinguished by a combination of high strength, hygienic and protective characteristics, including resistance to oil and oil products, as well as to biodegradation. The technology for obtaining special shoe leathers includes a through complex processing of semi-finished leather products with non-equilibrium low-temperature plasma and a solution of silver nanoparticles.

Аннотация. Предложена технология получения кож для верха специальной обуви, предназначенной для сотрудников нефтедобывающих предприятий. Кожы для верха обуви, из шкур крупного рогатого скота (КРС), выработанные по данной технологии отличаются сочетанием высоких прочностных, гигиенических и защитных характеристик, в том числе, устойчивостью к нефти и нефтепродуктам, а так же к биодеструкции. Технология получения специальных обувных кож включает сквозную комплексную обработку кожевенных полуфабрикатов неравновесной низкотемпературной плазмой (ННТП) и раствором наночастиц серебра (НЧС).

Key words: *non-equilibrium low-temperature plasma, silver nanoparticles, natural leather technology, special footwear, resistance to oil and oil products*

Ключевые слова: *неравновесная низкотемпературная плазма, наночастицы серебра, технология получения натуральных кож, специальная обувь, устойчивость к нефти и нефтепродуктам*

Введение

В реализации процесса нефтедобычи участвуют более сорока различных профессий, осуществляющие ведение технологического процесса бурения, добычи нефти и газа, поддержания пластового давления, обезвоживания и обессоливания, контролирующие параметры оборудования, устраняющие неисправности в его работе, производящие пуско-наладочные и профилактические работы. В зависимости от выполняемой деятельности, труд работников нефтяных приисков может быть связан с динамическими нагрузками, связанными с поднятием и перемещением тяжелых предметов,

статическими нагрузками вынужденной рабочей позы при управлении оборудованием, длительным нахождением (до 80% времени рабочей смены) в положении стоя. Таким образом, условия труда работников, занятых добычей нефти, могут стать причиной профессионально-обусловленной патологии здоровья, в связи с чем, особую роль в сохранении их здоровья имеют средства индивидуальной защиты, специальная одежда и специальная обувь.

При этом, как одежда, так и обувь работников, кроме обеспечения непосредственных защитных функций, прежде всего, не должны сковывать движение и причинять дискомфорт, а значит

должны иметь небольшой вес и соответствовать размерам тела человека, с учетом их изменения при выполнении характерных трудовых движений [8]. Сюда же следует отнести комфортный климат пододежного и внутриобувного пространства, и так как, при выполнении физической работы интенсифицируется подъем температуры и влажности во внутреннем пространстве одежды и обуви, то эти изделия должны быть способны их выводить или нивелировать. Иначе, дискомфорт от одежды и обуви может стать дополнительным фактором, отвлекающим внимание, повышающим раздражительность, утомляющим, снижающим работоспособность и потенциально способствующим к возникновению аварий, травм и риску для жизни.

Материалы и методы исследования

Как известно, качество одежды и обуви, в том числе и изделий специального назначения

непосредственно зависит от качества составляющих пакет материалов изделия [9]. В качестве материалов для одежды и верха специальной обуви используются натуральные, искусственные и синтетические материалы. При этом, обувь из натуральной специальной кожи, как правило, отличается оптимальным сочетанием потребительских и технологических характеристик.

Однако, перечисленные выше особенности условий эксплуатации специальных изделий из натуральной кожи, оказывают непосредственное влияние, как на целостность материалов, так и на само защитное изделие, существенно усложняя выполнение его основной функции.

На рисунке 1 приведены основные требования, предъявляемые к натуральным кожам, применяемым для изготовления специальной обуви.



Рисунок 1 – Требования к характеристикам натуральных кож, применяемых для изготовления специальной одежды и обуви

Как видно из рисунка 1, кожи специального назначения в первую очередь должны отличаться прочностными характеристиками, при этом, за счет влаго- и теплообменных свойств материалов, обеспечивать оптимальный микроклимат пододежного и внутриобувного пространства, предотвращая появления биологической деструкции материалов и вредного воздействия на человека [6, 7].

Техническая составляющая требований к конструкции специальной одежды и обуви включает возможность регулирования объема изделия и степени его прилегания, наличие функциональных деталей и их надежность, общая эргономика использования как всего изделия, так и отдельных его элементов. При составлении перечня требований к конструкции специальной обуви, учитывают, что специальная обувь разрабатывается с учетом быстрого и простого надевания и снятия, а так же прочного, плотного, но

не сдавливающего крепления на стопе, не стесняя кровообращения и нормального функционирования [8].

Из вышесказанного можно заключить, что изделия специального назначения необходимы, прежде всего, для защиты человека от воздействия различных внешних, в том числе и агрессивных сред, способных причинить вред здоровью работающего. Если воздействие воды само по себе не опасно, то при работе в условиях повышенной влажности, человек уже находится в зоне риска по здоровью. Изделия из натуральной кожи при контакте с водой и паром способны набирать влагу в толщу материала, а намочшее изделие не только становится тяжелее, но и способствует быстрому переохлаждению организма, одновременно создавая благоприятные условия для размножения патогенной флоры во внутриобувном пространстве. Кроме того, намочшее изделие из натуральной кожи быстро поддается гниению и

воздействию плесени, а после высыхания становится жестким, ломким и быстро теряет эксплуатационные характеристики.

В настоящее время, промышленностью предложен широкий ассортимент материалов, обладающих абсолютной гидрофобностью, но, как правило, они сами по себе не способны обеспечивать комфортное пододежное или внутриобувное пространство вследствие сниженных гигиенических показателей, не устойчивы к перепадам температур и весьма дороги. В связи с чем, современные исследования в данной области направлены на получение натуральных кож специального назначения, сохранивших все свои преимущества перед искусственными и синтетическими материалами, и при этом обладающими повышенной гидрофобностью.

Процесс гидрофобизации натуральных кож предполагает дополнительную обработку различными химическими препаратами [4, 5] и может проводиться на различных стадиях процесса производства, в зависимости от выбранной технологии, наиболее распространена обработка эмульсиями парафина и воска, силиконами, силанами, фторированными углеводородами, жирующими компонентами на основе лецитина, так же производители часто используют катионные поверхностно-активные вещества.

Следующей проблемой, неразрывно связанной с эксплуатацией специальной одежды и обуви в условиях повышенной влажности, является возможность заражения патогенными микроорганизмами, так как условия теплой, влажной среды внутриобувного и пододежного пространства являются благоприятными для их роста и размножения. Проведенный анализ научной литературы показал, что большинство методов устранения данной проблемы основываются на обработке материалов и изделий биоцидными (бактерицидными, фунгицидными и противогнилостными) препаратами [2, 3], в том числе и в производстве кож специального назначения.

На основании изложенного выше материала, можно заключить, что интерес исследователей и производителей к разработке новых технологий гидрофобизации и устойчивости к биодеструкции натуральных кож не ослабевает, и в настоящее

время большое внимание уделяется не только водонепроницаемости и устойчивости к действию патогенных микроорганизмов кож специального назначения, а именно комплексу свойств, когда данные эффекты сохраняются при длительной эксплуатации, не теряют своих свойств при истирающих воздействиях и при этом не ухудшают гигиенических показателей изделия. Допустимо предположить, что комплексных улучшений можно добиться, применяя комбинированные технологии, в частности не только за счет применения новых химических реагентов, но и используя инновационные способы преобразования структуры материала.

Одним из таких способов является обработка в среде неравновесной низкотемпературной плазмы (ННТП) [1]. Данный способ представляет собой инструмент электрофизической модификации, позволяющий управлять изменениями свойств, как поверхности, так и объемной структуры обрабатываемого материала. Установлено, что ННТП модификация кожевенных материалов в процессе их производства позволяет сократить количество дорогостоящих химических компонентов за счет повышения эффективности их использования, повысить прочностные, пластические, гигиенические, защитные, адгезионные показатели материала на различных этапах: в сырье и проведении подготовительных процессов преддубильных и дубильных процессов, красильно-жировальных процессов, на этапе отделки и в опытной эксплуатации [1].

Результаты эксперимента

В связи с вышеизложенным, в работе предложена комплексная сквозная технология обработки кожевенных материалов с использованием раствора наночастиц серебра (НЧС) и ННТП (рисунок 2). Обработка производилась в условиях предприятия ООО «Кожевник» г. Казань. В принятый на предприятии технологический процесс включено проведение сквозной схемы ННТП обработки в соответствии с представленной последовательностью и режимами, с использованием опытно-промышленной ННТП установки, подробно рассмотренной в работах [1, 8]. В качестве плазмообразующего газа использованы аргон и смесь аргона (70) и пропан-бутана (30).

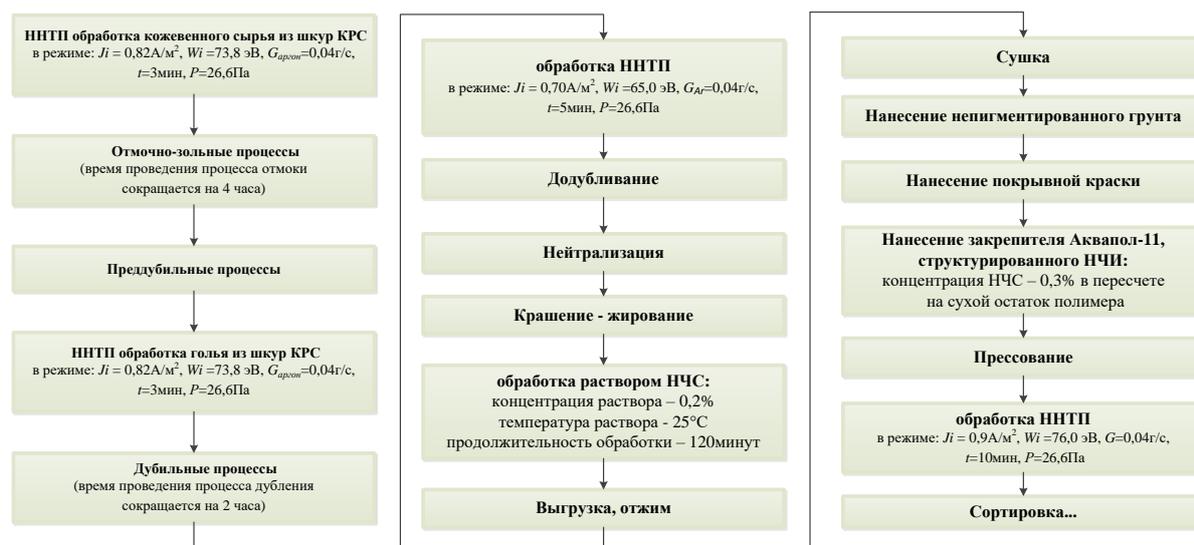


Рисунок 2 – Сквозная технологическая схема производственных процессов получения гидрофобных кож специального назначения с улучшенными эксплуатационными характеристиками из шкур КРС

При выработке специальных кож для верха обуви перед отмочно-зольными процессами проведена ННТП обработка кожевенного сырья из шкур КРС в режиме: плотность тока $J_i = 0,82 \text{ А/м}^2$, энергия ионов $W_i = 73,8 \text{ эВ}$, расход плазмообразующего газа $G_{\text{аргон}} = 0,04 \text{ г/с}$, время обработки $t = 3 \text{ мин}$, давление в рабочей камере $P = 26,6 \text{ Па}$, затем перед дублированием при тех же параметрах, перед додубливанием - в режиме: $J_i = 0,70 \text{ А/м}^2$, $W_i = 65,0 \text{ эВ}$, $G_{Ar} = 0,04 \text{ г/с}$, $t = 5 \text{ мин}$, $P = 26,6 \text{ Па}$, перед грунтованием проведена обработка раствором НЧС: концентрация раствора - 0,2%, температура раствора - 25°С, продолжительность обработки - 2 часа, затем после покрывного крашения произведено нанесение закрепителя, структурированного НЧИ при концентрации НЧС - 0,3% в пересчете на сухой остаток полимера и окончательная обработка ННТП после прессования в режиме: $J_i = 0,9 \text{ А/м}^2$, $W_i = 76,0 \text{ эВ}$, $G = 0,04 \text{ г/с}$, $t = 10 \text{ мин}$, $P = 26,6 \text{ Па}$.

Представленная технология за счет структурных преобразований, происходящих в

кожевенном материале, позволяет сократить время проведения отмочно-зольных процессов на четыре часа, продолжительность дублирования - на два часа, а вследствие улучшения выбираемости красителей, сократить их расход на 30%.

При этом, происходят следующие изменения физико-механических свойств (таблица 1) вырабатываемых кож: значение предела прочности при растяжении кож выпущенных по разработанной технологии превышает показатели кож, выпущенных по типовой технологии согласно ГОСТ 939-88 на 50%, значение удлинения при напряжении 10 МПа - на 23%, адгезия покрывной пленки возрастает в три раза; гигиенических характеристик: паропроницаемость - увеличивается на 47%, гигроскопичность - на 7%, влагоотдача - на 8%; показателей гидрофобности: впитываемость капли воды поверхностью материала - в два раза, краевой угол смачивания - на 26%.

Таблица 1

Влияние сквозной комплексной обработки НЧС и ННТП на гидрофобные и эксплуатационные характеристики кож из шкур КРС

Характеристики	Значения характеристик	
	контрольные	опытные
Предел прочности при растяжении, МПа	20,0	30,0
Удлинение при напряжении 10 Мпа, %	17,0	21,0
Массовая доля влаги, %	10,0	10,9
Краевой угол смачивания, °	110,0	139,0
Впитываемость, с	360,0	690,0
Паропроницаемость водяных паров, г/м ²	440,0	650,0
Гигроскопичность, %	8,0	14,7
Влагоотдача, %	6,9	15,4
Устойчивость покрытия к многократному изгибу, баллы	3	4
Устойчивость покрытия к мокрому трению, баллы	3	4
Адгезия покрывной пленки, Н/м		
к сухой коже	200	620
к мокрой коже	115	360

Исходя из результатов таблицы 1 можно заключить, что улучшение гидрофобных и прочностных характеристик, не вызывает ухудшения гигиенических свойств полученных кожаных материалов, что позволяет сделать вывод об эффективности внедрения предложенной сквозной схемы в технологический процесс производства. При этом, полную оценку эксплуатационных свойств полученных кож целесообразно проводить при испытании готового изделия и анализ таких показателей как стойкость верха готовой специальной обуви к действию нефти и нефтепродуктов произведен в процессе опытной носки обуви сотрудниками нефтяного месторождения.

Коэффициент стойкости исследуемых кож к воздействию нефти и нефтепродуктов определяли

согласно ГОСТ 12.4.130-83 по показателю предела прочности при растяжении. В результате проведения испытаний установлено, что, кожи, выработанные по предложенной технологии имеют коэффициент стойкости 98,2%, в то время как у кож, выработанных по типовой технологии данный параметр составил 91,8%.

Целесообразно установить сохраняемость данного параметра во времени в процессе эксплуатации. Для этих целей из всех исследуемых изделий еженедельно отбиралась одна пара обуви, в которой одна полупара изготовлена из экспериментальной кожи, другая из типовой, из которых вырубались стандартные образцы, в дальнейшем подвергаемые испытанию так же согласно ГОСТ 12.4.130-83, полученные результаты приведены на рисунке 3.

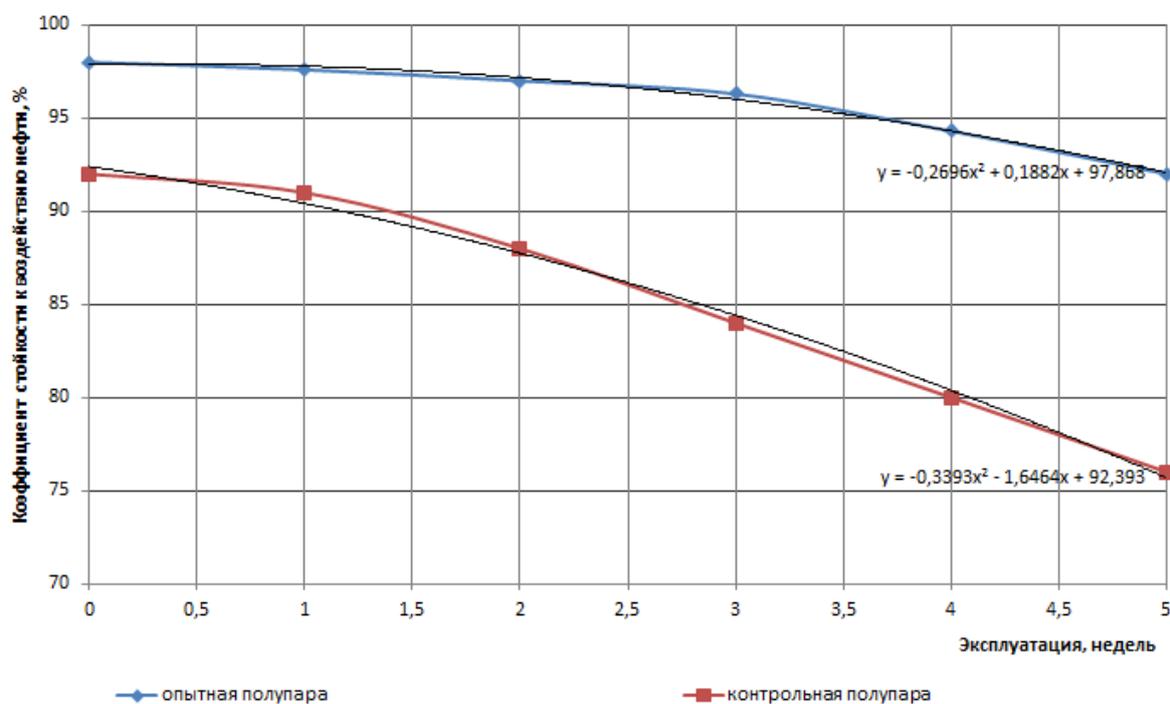


Рисунок 3 – Результаты исследования стойкости исследуемых кож к воздействию нефти и нефтепродуктов в процессе экспериментальной носки от одной до пяти недель

Представленные на рисунке 3 результаты испытаний исследуемых кож для верха специальной обуви к воздействию нефти и нефтепродуктов в процессе экспериментальной носки от одной до пяти недель позволяют заключить, что комплексная обработка НЧС и ННТП позволяет не только упрочнить структуру материала, но и придать дополнительную износостойкость и устойчивость верху обуви из экспериментальной кожи к воздействию нефти и нефтепродуктов. Данный вывод подтверждает характер кривой образцов, вырубленных из опытных полупар, по которому видно, что падение прочности образцов, по которым определяется коэффициент устойчивости к нефти и нефтепродуктам, происходит с меньшей

интенсивностью относительно образцов, вырубленных из контрольных полупар.

Следует заметить, что в результате комплексной сквозной обработки по предложенной технологии увеличивается так же устойчивость полученных материалов к биодеструкции, что подтверждено испытаниями по стандартной методике определения чувствительности микроорганизмов по параметру задержки роста. В качестве тестовых использовались культуры кишечной и сенной палочек. О результатах испытаний имеется заключение ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в РТ».

Список литературы

1. Абдуллин, И.Ш. Высокочастотная плазменно-струйная обработка твердых тел

сплошной и капиллярно-пористой структуры: препринт / И.Ш. Абдуллин, Н.Ф. Кашапов, И.В. Красина; Казан. гос. технол. ун-т. – Казань, - 2003. -24с.

2. Кулевцов Г.Н. Применение обработки наночастицами серебра и низкотемпературной плазмой для получения гидрофобной кожи специального назначения с повышенными эксплуатационными свойствами / Г.Н.Кулевцов, Г.Р.Николаенко, А.В.Шестов // «Кожа и мех в XXI веке» Технология, качество, экология, образование: материалы IX научно - практической конференции 2013 года г. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2013. - С.92-97.

3. Николаенко Г.Р., Кулевцов Г.Н., Степин С.Н., Шестов А.В. О применении наночастиц серебра в качестве бактерицидного агента в производстве кож специального назначения Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 8. С. 86-88

4. Николаенко Г.Р., Кулевцов Г.Н., Шестов А.В. Исследование влияния обработки неравновесной низкотемпературной плазмой на получение гидрофобной кожи специального назначения. Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 18. С. 99-101.

5. Шатаева Д.Р., Шестов А.В., Кулевцов Г.Н. Оптимизация режимов ННТП обработки кожи из

шкур овчины и КРС с целью получения гидрофобной кожи с улучшенными физико-механическими и гигиеническими свойствами. Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 11. С. 77-79.

6. Шестов А.В. Повышение защитных свойств натуральной кожи для верха обуви специального назначения. Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 13. С. 114-116.

7. Шестов А.В. Получение кожевенных материалов с улучшенными защитными и физико-механическими характеристиками. Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 14. С. 137-139.

8. Шестов А.В. Технологии получения обувной кожи с применением ННТП обработки и специальных изделий на ее основе для нефтехимического комплекса. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2016. – 267 с.

9. Шестов А.В. Улучшение эксплуатационных свойств натуральной кожи для верха специальной обуви в результате воздействия неравновесной низкотемпературной плазмы. Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 11. С. 119-121.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Шукюрова Гюльнара

доктор философии по математике

Кафедра Высшей математики, Бакинский Государственный Университет,

г.Баку, Азербайджан

Маммедова Джалала

доцент

Кафедра Оптимальных вариаций, Бакинский Государственный Университет,

г.Баку, Азербайджан

СЛАБОЕ РЕШЕНИЕ СМЕШАННОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ПОЛУЛИНЕЙНЫХ ПСЕВДОГИПЕРБОЛИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКА С НЕГЛАДКИМ КОЭФФИЦИЕНТОМ

Gulnara D.Shukurova

Department of higher mathematics,

Baku State University,

Baku, Azerbaijan.

Jalala J.Mamedova

Department of optimal variations, Baku State University,

Baku, Azerbaijan.

MIXED PROBLEM FOR THE FORTH ORDER POLYLINEAR PSEUDOHYPERBOLIK EQUATIONS WITH NONSMOOTH COEFFICIENT

DOI: [10.31618/ESSA.2782-1994.2022.1.77.234](https://doi.org/10.31618/ESSA.2782-1994.2022.1.77.234)

Аннотация. В работе рассмотрена смешанная задача для полулинейного псевдогиперболического уравнения четвертого порядка в случае, когда некоторые коэффициенты- достаточно гладкие функции, а некоторые коэффициенты имеют ограниченную вариацию. Вводится определение слабого решения. Доказываются теоремы существования и единственности слабого решения рассматриваемой задачи.

Summary. In this work the mixed problem for the forth order polylinear pseudohyperbolic equations is considered, when some coefficients are sufficiently smooth functions and some have bounded variations. The definition of weak solution is introduced. The theorem of existence and uniqueness of weak solution of the mixed problem.

Ключевые слова: слабое решение, псевдогиперболические уравнения, негладкий коэффициент, функции с ограниченной вариацией.

Keywords: polylinear pseudohyperbolic equations, nonsmooth coefficients, smooth functions.

Пусть $\Omega \subset R_n$ ограниченная область с достаточно гладкой границей Γ . В цилиндре $Q_T = (0, T) \times \Omega$ рассмотрим смешанную задачу для полулинейного псевдогиперболического уравнения четвертого порядка

$$u_{tt} - a(t)\Delta u + b(t)\Delta^2 u = f(t, x, u, u_t), t > 0, x \in \Omega, \quad (1)$$

с граничными условиями

$$u(t, x) = \Delta u(t, x) = 0, t > 0, x \in \Gamma, \quad (2)$$

и с начальными условиями

$$u(0, x) = u_0(x) u_t(0, x) = u_1(x), x \in \Omega, \quad (3)$$

где $a(t)$ и $b(t)$ - некоторые функции, определенные на $[0, T]$, $af(t, x, u, v)$ определена на $[0, T] \times \Omega \times R^2$.

В данной работе рассматривается случай, когда $a(t) \geq a_0 > 0$ и достаточно гладкая функция, $ab(t) \geq b_0 > 0$ имеет ограниченную вариацию.

Введем некоторые определения и обозначения. Через \hat{W}_2^m обозначим следующее подпространство пространства $W_2^m(\Omega)$:

$$\hat{W}_2^m = \{u: u \in W_2^m(\Omega), \Delta^i u = 0, x \in \Omega, i = 0, 1, \dots, \left(\frac{m}{2}\right)\}, \text{ где}$$

$$\binom{m}{2} = \ell \text{ если } m = 2\ell + 1, \binom{m}{2} = \ell - 1, \text{ если } m = 2\ell\}.$$

Пусть $X \subset Y$ - гильбертовы пространства. Через $W_p^1(a, b; X, Y)$ обозначим следующее пространство (см [4]):

$$W_p^1(a, b; X, Y) = \{u: u \in L_p(a, b; X), u' \in L_p(a, b; Y)\}, \text{ где } 1 \leq p \leq \infty.$$

Существование решений задачи (1)-(3) будем исследовать при следующих предположениях

$$1^\circ. a(t) \in C^1[0, T], a(t) \geq a_0 > 0;$$

$$2^\circ. b(t) \in BV[0, T], b(t) \geq b_0 > 0;$$

3°. Функция $f(t, x, u, v)$ определена на $[0, T] \times \Omega \times R^2$ и при каждом $t \in [0, T]$ определяет ограниченный оператор, действующий из $\widehat{W}_2^2 \times \widehat{W}_2^1$ в \widehat{W}_2^1 , который удовлетворяет локальному условию Липшица, т.е. при любых $t_1, t_2 \in [0, T], \|u_i\|_{\widehat{W}_2^2} \leq r, \|v_i\|_{\widehat{W}_2^1} \leq r, r > 0, i = 1, 2$ выполняется неравенство:

$$\|f(t_2, u_2, v_2) - f(t_1, u_1, v_1)\|_{\widehat{W}_2^1} \leq c(r) \left[|t_2 - t_1| + \|u_2 - u_1\|_{\widehat{W}_2^2} + \|v_2 - v_1\|_{\widehat{W}_2^1} \right],$$

где $c(\cdot) \in C(R_+)$;

4°. $F(t, u, v)$ является усиленно непрерывной из $\widehat{W}_2^1(0, T; \widehat{W}_2^2, \widehat{W}_2^1)$ в $L_1(0, T; W^{-2})$, т.е. если $u_\mu \rightarrow u$ *-слабо в $L_\infty(0, T; \widehat{W}_2^2)$, $u'_\mu \rightarrow u'$ *-слабо в $L_\infty(0, T; \widehat{W}_2^1)$, то $f(t, u_\mu, u'_\mu) \rightarrow f(t, u, u')$ в $L_1(0, T; W^{-2})$, где $W^{-2} = (\widehat{W}_2^2)'$;

5°. При любых $u(\cdot) \in W_2^1(0, T; \widehat{W}_2^2, \widehat{W}_2^1)$ выполнена следующая односторонняя оценка:

$$\int_0^S \int_\Omega f(t, x, u(t, x), u'(t, x)) u'(t, x) dx dt \leq c \left[1 + \int_0^S \left(\|u(t, \cdot)\|_{\widehat{W}_2^2}^2 + \|u'(t, \cdot)\|_{\widehat{W}_2^1}^2 \right) dt \right].$$

Определение. Функцию $u \in W_2^1(0, T; \widehat{W}_2^2, \widehat{W}_2^1)$ назовём слабым решением задачи (1)-(3), если при любых $v \in W_2^1(0, T; \widehat{W}_2^2, \widehat{W}_2^1), v(T, x) = 0$ выполнено равенство

$$\begin{aligned} & - \int_0^T \int_\Omega u'(t, x) \cdot v'(t, x) dx dt - \int_0^T \int_\Omega a(t) \nabla u'(t, x) \nabla v'(t, x) dx dt + \\ & + \int_0^T \int_\Omega b(t) \Delta u(t, x) \Delta v(t, x) dx dt - \int_\Omega u_1(x) v(0, x) dx - \int_\Omega \nabla u_1(x) \nabla v(0, x) dx - \\ & - \int_0^T \int_\Omega a'(t) \nabla u'(t, x) \nabla v(t, x) dx dt = \int_0^T \int_\Omega f(t, x, u(t, x), u'(t, x)) v(t, x) dx dt, \end{aligned} \quad (4)$$

а $u(t, x)$ удовлетворяет начальному условию $u(0, x) = u_0(x), x \in \Omega$, (5)

где «'» означает производную по t .

Теорема . Пусть выполнены условия $1^0 - 5^0$. Тогда при любых $u_0 \in \widehat{W}_2^2, u_1 \in \widehat{W}_2^1$ задача (1) - (3) имеет слабое решение

$$u(\cdot) \in W_2^1(0, T; \widehat{W}_2^2, \widehat{W}_2^1).$$

Рассмотрим смешанную задачу

$$u_{tt} - a(t) \Delta u + b(t) \Delta^2 u = f(t, x, u), t > 0, x \in \Omega \quad (6)$$

с граничными условиями (2) и начальными условиями (3).

Предположим, что $a(t)$ и $b(t)$ удовлетворяют условиям $1^0, 2^0$ и

1'. $a'(t)$ дифференцируема и $a''(\cdot) \in L_1(0, T)$.

Нелинейная функция $f(t, x, u)$ удовлетворяет условию:

3'. При каждом $t \in [0, T]$ $f(t, x, u)$ определяет ограниченный оператор из \widehat{W}_2^2 в \widehat{W}_2^1 , который удовлетворяет локальному условию Липшица, т.е. при любых $\|u_i\|_{\widehat{W}_2^2} \leq r, i = 1, 2$

$$\|f(t_2, x_2, u_2) - f(t_1, x_1, u_1)\|_{\widehat{W}_2^1} \leq c(r) \left[|t_2 - t_1| + \|u_2 - u_1\|_{\widehat{W}_2^2} \right], \text{ где } c(\cdot) \in C(R_+).$$

В дальнейшем через $\|\cdot\|$ будем обозначать норму в $L_2(\Omega)$. Абстрактные функции $t \rightarrow u(t, x,)$ со значениями в $L_2(\Omega)$ или в $\widehat{W}_2^i, i = 1, 2$ будем обозначать через $u(t)$.

Доказательство теоремы существования слабого решения.

Сначала рассмотрим случай, когда $b(t) = b = const$. Заменой $v_1 = u, v_2 = u'$ задача (1)- (3) сводится к задаче Коши:

$$\begin{cases} w(t) = L(t)w(t) + F(t, w(t)), \\ w(0) = w_0 \end{cases} \quad (7)$$

в гильбертовом пространстве $H = \widehat{W}_2^2 \times \widehat{W}_2^1$, где

$$L(t) = \begin{pmatrix} 0I \\ -b\Delta^2 G(t)0 \end{pmatrix}, D(L(t)) = H_1 = \widehat{W}_2^3 \times \widehat{W}_2^2$$

$$G(t) = (I - a(t)\Delta)^{-1}, F(t, w(t)) = \begin{pmatrix} 0 \\ f(t, x, v_1(t, x), v_2(t, x)) \end{pmatrix}.$$

Для задачи (7), (8) выполнены все условия о разрешимости «в целом» (см. [2]). Поэтому при любых $w_0 \in H$ задача (7), (8) имеет единственное решение $w(t) \in C([0, T]; H)$. При этом, если $w_0 \in H_1$, то $w(t) \in C([0, T]; H_1) \cap C^1([0, T], H)$ и является сильным решением задачи (7), (8).

Легко показать, что если $w_0 \in H$ и $w(t)$ является соответствующим слабым решением задачи (7), (8), то $w(t) = \begin{pmatrix} u(t, x) \\ u'(t, x) \end{pmatrix}$ и $u(t, x)$ является слабым решением задачи (1) - (3). Поэтому при любых $z(t, x) \in W_2^1(0, T; \widehat{W}_2^2, \widehat{W}_2^1)$ выполнено равенство:

$$\begin{aligned} & - \int_0^T \int_{\Omega} u'(t, x) z'(t, x) dx dt - \int_0^T \int_{\Omega} a(t) \nabla u'(t, x) \nabla z'(t, x) dx dt + \\ & + \int_0^T \int_{\Omega} b(t) \Delta u(t, x) \Delta z(t, x) dx dt + \int_{\Omega} u'(T, x) z(t, x) - \int_{\Omega} u'(0, x) z(0, x) + \\ & + \int_{\Omega} \nabla a(T) u_t(T, x) \nabla z(T, x) dx - \int_{\Omega} \nabla a(0) u_t(0, x) \nabla z(0, x) dx - \\ & - \int_0^T \int_{\Omega} a'(t) \nabla u'(t, x) \nabla z(t, x) dx dt = \int_0^T \int_{\Omega} f(t, x, u(t, x), u'(t, x)) z(t, x) dx dt. \end{aligned}$$

Если $w(t_0) = \begin{pmatrix} u(t_0, x) \\ u'(t_0, x) \end{pmatrix} \in H_1$, то $w(t)$ является сильным решением задачи (7), (8) и справедливо следующее тождество

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \|u'(t, \cdot)\|^2 + \frac{a(t)}{2} \|\nabla u'(t, \cdot)\|^2 + \frac{b}{2} \|\Delta u(t, \cdot)\|^2 = \frac{1}{2} \|u'(t_0, \cdot)\|^2 + \frac{a(t_0)}{2} \|\nabla u'(t_0, \cdot)\|^2 + \frac{b}{2} \|\Delta u(t_0, x)\|^2 + \\ & + \int_{t_0}^t \int_{\Omega} a'(\tau) \cdot \nabla u'(\tau, x) \cdot \nabla u(\tau, x) dx d\tau + \int_{t_0}^t \int_{\Omega} f(\tau, x, u(\tau, x), u'(\tau, x)) u'(\tau, x) dx d\tau. \end{aligned} \quad (9)$$

Пусть $w(t_0) = \begin{pmatrix} u(t_0, x) \\ u'(t_0, x) \end{pmatrix} \in H_1$. Аппроксимируя $w(t_0)$ более гладкими элементами и переходя к пределу, получим, что (9) справедливо для слабых решений.

Отрезок $[0, T]$ разобьем на n частей : $0 = t_0 < t_1 < \dots < t_n = T$. Пусть $b_n(t) = b_{nk}, t_k \leq t \leq t_{k+1}, k = 0, 1, \dots, n - 1$, где $b_{nk} = \frac{1}{\delta_k} \int_{t_k}^{t_{k+1}} b(\tau) d\tau, \delta_k = t_{k+1} - t_k$.

Рассмотрим смешанную задачу

$$u''_{nk} - a(t)\Delta u'' + b_n(t)\Delta^2 u_{nk} = f(t, u_{nk}, u'_{nk}), t_k \leq t \leq t_{k+1}, x \in \Omega \quad (10)$$

с граничными условиями (2) и с начальными условиями

$$u_{n,k}(t_k, x) = u_{nk}^0(x), u'_{n,k}(t_k, x) = u'_{nk}(x), x \in \Omega, \quad (11)$$

$$\text{где } u_{n,0}^0(x) = u_0(x), u'_{n,0}(x) = u_1(x), x \in \Omega, \quad (12)$$

$$u_{n,k}^0(x) = u_{n,k-1}(t_k, x), u'_{n,k}(x) = u'_{n,k-1}(t_k, x), x \in \Omega, k = 1, 2, \dots, n. \quad (13)$$

Решая последовательно задачи (10)- (13), начиная с $k = 0$, получаем, что при каждом $k = 0, 1, \dots, n - 1$ задача (10) – (13) имеет единственное решение $u_{n,k}(\cdot) \in C([t_k, t_{k+1}]; \widehat{W}_2^2) \cap C^1([t_k, t_{k+1}]; \widehat{W}_2^1)$ и для них справедливо энергетическое равенство

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \|u'_{n,k}(t)\|^2 + \frac{a(t)}{2} \|\nabla u'_{n,k}(t)\|^2 + \frac{b_{n,k}}{2} \|\Delta u_{n,k}(t)\|^2 = \\ & = \frac{1}{2} \|u'_{n,k}(t_k)\|^2 + \frac{a(t_k)}{2} \|\nabla u'_{n,k}(t_k)\|^2 + \frac{b_{n,k}}{2} \|\Delta u_{n,k}(t_k)\|^2 + \\ & \quad + \int_{t_k}^t \int_{\Omega} a'(\tau) \nabla u'_{n,k}(\tau, x) \cdot \nabla u_{n,k}(\tau, x) dx d\tau + \\ & \quad + \int_{t_k}^t \int_{\Omega} f(\tau, u_{n,k}(\tau, x), \nabla u'_{n,k}(\tau, x)) u'_{n,k}(\tau, x) dx d\tau, t_k \leq t \leq t_{k+1} \end{aligned} \quad (14)$$

$k = 0, 1, \dots, n - 1$.

Рассмотрим последовательность $u_n(t), 0 \leq t \leq T$, где $u_n(t) = u_{n,k}(t)$ при $t_k \leq t \leq t_{k+1}, k = 0, 1, \dots, n$. Учитывая это, из (14) получаем, что при $t_k \leq t \leq t_{k+1}$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \|u'_n(t)\|^2 + \frac{a(t)}{2} \|\nabla u'_n(t)\|^2 + \frac{b_{n,k}}{2} \|\Delta u_n(t)\|^2 = \\ & = \frac{1}{2} \|u'_{n,k-1}(t_k)\|^2 + \frac{a(t_k)}{2} \|\nabla u'_{n,k-1}(t_k)\|^2 + \frac{b_{n,k}}{2} \|\Delta u_{n,k-1}(t_k)\|^2 + R_{n,k}(t), \end{aligned} \quad (15)$$

где $R_{n,k}(t) = \int_{t_k}^t \int_{\Omega} a'(\tau) \nabla u'_n(\tau, x) \nabla u_n(\tau, x) dx d\tau +$

$$+ \int_{t_k}^t \int_{\Omega} f(\tau, u_n(\tau, x), u'_n(\tau, x)) u'_n(\tau, x) dx d\tau. \quad (16)$$

Из (15), используя (14), получаем, что

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \|u'_n(t)\|^2 + \frac{a(t)}{2} \|\nabla u'_n(t)\|^2 + \frac{b_{n,k}}{2} \|\Delta u_n(t)\|^2 \leq \frac{1}{2} \|u_0(x)\|^2 + \frac{a(0)}{2} \|\nabla u_1(x)\|^2 + \frac{b_{n,0}}{2} \|\Delta u_0(x)\|^2 + \\ & \quad + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^k (b_{n,j} - b_{n,j-1}) \cdot \|\Delta u_{n,j-1}(t, \cdot)\|^2 + R_{n,0}(t). \end{aligned}$$

Используя неравенство Гельдера и Коши, отсюда выводится неравенство

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \|u'_n(t)\|^2 + \frac{a_0}{2} \|\nabla u'_n(t)\|^2 + \frac{b_0}{2} \|\Delta u_n(t)\|^2 \leq \\ & \leq \frac{1}{2} \|u_0(x)\|^2 + \frac{a(0)}{2} \|\nabla u_1(x)\|^2 + \frac{M_b}{2} \|\Delta u_0(x)\|^2 + c_1 + c_2 \int_0^t (c_0 + a'(\tau)) \times \\ & \quad \times \left[\|\nabla u'_n(\tau, x)\|^2 + \|\Delta u_n(\tau, x)\|^2 \right] d\tau + \sum_{j=1}^k (b_{n,j} - b_{n,j-1}) \|\Delta u_{n,j-1}(t_j)\|^2, \end{aligned} \quad (17)$$

где $M_b = \max_{0 \leq t \leq T} b(t)$, $c_1 > 0, c_2 > 0$ не зависят от n .

Применяя лемму Гронуолла, из (17) получаем, что

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \|u'_n(t)\|^2 + \|\nabla u'_n(t)\|^2 + \frac{b_0}{2} \|\Delta u_n(t)\|^2 \leq \\ & \leq \left[\frac{1}{2} \|u_1(x)\|^2 + \frac{a(0)}{2} \|\nabla u_1(x)\|^2 + \frac{M_b}{2} \|\Delta u_0(x)\|^2 + \right. \end{aligned}$$

$$+ c_1 + \sum_{j=1}^k |b_{n,j} - b_{n,j-1}| \left\| \Delta u_{n,j-1}(t_j) \right\|^2 \Big] \times \exp \left[c_2 c_0 T + c_2 \int_0^t a'(\tau) d\tau \right]. \quad (18)$$

С другой стороны, $\sum_{j=1}^k |b_{n,j} - b_{n,j-1}| \cdot \|\Delta u_{n,j}(\tau)\|^2 \leq \int_{[0,t]} \|\Delta u_n(\tau)\|^2 dV_b[0, t]$ (19)

Из (18) и (19) следует, что

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \|u'_n(t)\|^2 + \frac{a(0)}{2} \|\nabla u'_n(t)\|^2 + \frac{b_0}{2} \|\Delta u_n(t)\|^2 \leq \\ & \leq c_3 \left[\frac{1}{2} \|u_1(x)\|^2 + \frac{a(0)}{2} \|\nabla u_1(x)\|^2 + \frac{M_b}{2} \|\Delta u_0(x)\|^2 \right] \times \exp(c_3 V_b[0, T]), \quad (20) \end{aligned}$$

где $c_3 = \exp \left[c_2 c_0 T + c_2 \int_0^t a'(\tau) d\tau \right]$.

Таким образом, для последовательности $\{u_n(t, \cdot)\}$ имеет место априорная оценка (20).

Тогда ввиду *-слабой компактности ограниченного множества в $L_\infty(0, T; X)$, где X- гильбертово пространство, получим, что из последовательности $\{u_n(t, \cdot)\}$ можно выделить подпоследовательность $\{u_{n_\mu}(t, \cdot)\}$ со следующими свойствами (см. [6]):

$$u_{n_\mu} \rightarrow u \text{ * -слабо в } L_\infty(0, T; \widehat{W}_2^2), \quad (21)$$

$$u_{n_\mu} \rightarrow u' \text{ * -слабо в } L_\infty(0, T; \widehat{W}_2^1). \quad (22)$$

Пусть $v(\cdot) \in W_2^1(0, T; \widehat{W}_2^2, \widehat{W}_2^1)$ и $v(T, x) = 0$. Тогда, используя (10)- (13), получим, что

$$\begin{aligned} & - \int_0^T \int_\Omega u'_n(t, x) \cdot v'(t, x) dxdt - \int_0^T \int_\Omega a(t) \nabla u'_n(t, x) \nabla v'(t, x) dxdt + \\ & \int_0^T \int_\Omega b_n(t) \Delta u_n(t, x) \cdot \Delta v(t, x) dxdt - \int_0^T \int_\Omega a'(t) \nabla u'_n(t, x) \nabla v(t, x) dxdt - \\ & - \int_0^T \int_\Omega f(t, x, u_n(t, x), u'_n(t, x)) v(t, x) dxdt = \\ & = \int_\Omega u'_n(0; x) \cdot v(0, x) dx - \int_\Omega a(0) \nabla u'_n(0, x) \cdot \nabla v(0, x) dx = \\ & = - \int_\Omega u_1(x) v(0, x) - \int_\Omega a(0) \nabla u_1(x) \cdot \nabla v(0, x) dx. \quad (23) \end{aligned}$$

С другой стороны,

$$u_n(0, x) = u_{n,0}(x) = u_0(x), x \in \Omega. \quad (24)$$

Написав (23) для $n = n_\mu$, переходим к пределу при $n_\mu \rightarrow +\infty$.

Тогда, учитывая (21) – (24), получим, что $u(\cdot) \in W^2(0, T; \widehat{W}_2^2; \widehat{W}_2^1)$ является слабым решением задачи (1) - (3).

Литература.

1. A.B.Aliev, N.A.Suleymanov, A mixed problem for some classes quasilinear Sobolev type equations. Transactions of National Academy of Sciences of Azerb., XXIV, №1 (2004), 27-36.
2. L.De Simon and G.Torelli, Linear second order differential equations with discontinuous coefficients in Hilbert spaces. Ann. Scuola Norm. Sup. Pisa, IV, 1 (1974), 131-154.

3. A.B.Aliev, G.D.Shukurova, Quasilinear hyperbolic equations with discontinuous coefficients. Transactions of National Academy of Sciences of Azerb., XXVI, №1 (2006), 15-23.
4. Ж.-Л.Лионс, Э.Мадженес, Неоднородные граничные задачи и их приложения, М., Мир, 1971,371 с.

#1(77), 2022 часть 1
Восточно Европейский научный журнал
(Санкт-Петербург, Россия)
Журнал зарегистрирован и издается в России
В журнале публикуются статьи по всем
научным направлениям.
Журнал издается на русском, английском и
польском языках.

Статьи принимаются до 30 числа каждого
месяца.
Периодичность: 12 номеров в год.
Формат - А4, цветная печать
Все статьи рецензируются
Бесплатный доступ к электронной версии
журнала.

Редакционная коллегия

Главный редактор - Адам Барчук

Миколай Вишневецки

Шимон Анджеевский

Доминик Маковски

Павел Левандовски

Ученый совет

Адам Новицки (Варшавский университет)

Михал Адамчик (Институт
международных отношений)

Питер Коэн (Принстонский университет)

Матеуш Яблоньски (Краковский
технологический университет имени
Тадеуша Костюшко)

Петр Михалак (Варшавский университет)

Ежи Чарнецкий (Ягеллонский университет)

Колуб Френнен (Тюбингенский
университет)

Бартош Высоцкий (Институт
международных отношений)

Патрик О'Коннелл (Париж IV Сорбонна)

Мацей Качмарчик (Варшавский
университет)

#1(77), 2022 part 1
Eastern European Scientific Journal
(St. Petersburg, Russia)
The journal is registered and published in Russia
The journal publishes articles on all scientific
areas.
The journal is published in Russian, English
and Polish.

Articles are accepted till the 30th day of each
month.
Periodicity: 12 issues per year.
Format - A4, color printing
All articles are reviewed
Free access to the electronic version of journal

Editorial

Editor-in-chief - Adam Barczuk

Mikolaj Wisniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Pawel Lewandowski

Scientific council

Adam Nowicki (University of Warsaw)

Michal Adamczyk (Institute of International
Relations)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jablonski (Tadeusz Kosciuszko
Cracow University of Technology)

Piotr Michalak (University of Warsaw)

Jerzy Czarnecki (Jagiellonian University)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Institute of International
Relations)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (University of Warsaw)

Давид Ковалик (Краковский технологический университет им. Тадеуша Костюшко)

Питер Кларквуд (Университетский колледж Лондона)

Игорь Дзедзич (Польская академия наук)

Александр Клиmek (Польская академия наук)

Александр Роговский (Ягеллонский университет)

Кехан Шрайнер (Еврейский университет)

Бартош Мазуркевич (Краковский технологический университет им. Тадеуша Костюшко)

Энтони Маверик (Университет Бар-Илан)

Миколай Жуковский (Варшавский университет)

Матеуш Маршалек (Ягеллонский университет)

Шимон Матысяк (Польская академия наук)

Михал Невядомский (Институт международных отношений)

Главный редактор - Адам Барчук

1000 экземпляров.

Отпечатано в ООО «Логика+»

198320, Санкт-Петербург,

Город Красное Село,

ул. Геологическая,

д. 44, к. 1, литера А

«Восточно Европейский Научный Журнал»

Электронная почта: info@eesa-journal.com,

<https://eesa-journal.com/>

Dawid Kowalik (Kracow University of Technology named Tadeusz Kościuszko)

Peter Clarkwood (University College London)

Igor Dzedzic (Polish Academy of Sciences)

Alexander Klimek (Polish Academy of Sciences)

Alexander Rogowski (Jagiellonian University)

Kehan Schreiner (Hebrew University)

Bartosz Mazurkiewicz (Tadeusz Kościuszko Cracow University of Technology)

Anthony Maverick (Bar-Ilan University)

Mikołaj Żukowski (University of Warsaw)

Mateusz Marszałek (Jagiellonian University)

Szymon Matysiak (Polish Academy of Sciences)

Michał Niewiadomski (Institute of International Relations)

Editor in chief - Adam Barczuk

1000 copies.

Printed by Logika + LLC

198320, Region: St. Petersburg,

Locality: Krasnoe Selo Town,

Geologicheskaya 44 Street,

Building 1, Litera A

"East European Scientific Journal"

Email: info@eesa-journal.com,

<https://eesa-journal.com/>