ТОЧНАЯ НАУКА

естественнонаучный журнал

XXXVI Международная научная конференция "Техноконгресс"

Сборник статей международной естественнонаучной конференции с публикацией в НЭБ elibrary.ru

t-nauka.ru

КЕМЕРОВО 2019

СБОРНИК СТАТЕЙ ТРИДЦАТЬ ШЕСТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ТЕХНОКОНГРЕСС»

21 января 2019 г.

ББК Ч 214(2Рос-4Ке)73я431

ISBN 978-5-9907988-3-8

Кемерово УДК 378.001. Сборник статей студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава. По результатам XXXVI Международной научной конференции «Техноконгресс», 21 января 2019 г. www.t-nauka.ru / Редкол.:

Никитин Павел Игоревич - главный редактор, ответственный за выпуск журнала

Баянов Игорь Вадимович - математик, специалист по построению информационно-аналитических систем, ответственный за первичную модерацию, редактирование и рецензирование статей

Артемасов Валерий Валерьевич - кандидат технических наук, ответственный за финальную модерацию и рецензирование статей

Зимина Мария Игоревна - кандидат технических наук, ответственный за финальную модерацию и рецензирование статей

Нормирзаев Абдукаюм Рахимбердиеви - кандидат технических наук, Наманганский инжинерно-строительный институт (НамМПИ)

Безуглов Александр Михайлович - доктор технических наук, профессор кафедры математики и математического моделирования, Южно-российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) им. М.И .Платова,

Наджарян Микаел Товмасович - кандидат технических наук, доцент, Национальный политехнический университет Армении

Шушлебин Игорь Михайлович - кандидат физико-математических наук, кафедра физики твёрдого тела Воронежского государственного технического университета

Равшанов Дилшод Чоршанбиевич - кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Технология, машины и оборудования полиграфического производства», Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

Крутякова Маргарита Викторовна – доцент, кандидат технических наук, Московский политехнический университет

Гладков Роман Викторович - кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации вооружения и военной техники Рязанского гвардейского высшего воздушно-десантного командного училища

Моногаров Сергей Иванович - кандидат технических наук доцент Армавирского механико-технологического института (филиал) ФГОУ ВО КубГТУ

Шевченко Сергей Николаевич - кандидат технических наук, доцент кафедры СЭУ, Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота РФ

Отакулов Салим - Доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики Джизакского политехнического института

А.О. Сергеева (ответственный администратор)[и др.];

Кемерово 2018

В сборнике представлены материалы докладов по результатам научной конференции.

Цель – привлечение студентов к научной деятельности, формирование навыков выполнения научно-исследовательских работ, развитие инициативы в учебе и будущей деятельности в условиях рыночной экономики.

Для студентов, молодых ученых и преподавателей вузов.

Издательский дом «Плутон» www.idpluton.ru e-mail: admin@idpluton.ru

Подписано в печать 21.01.2019 г. Формат 14,8×21 1/4. | Усл. печ. л. 3.2. | Тираж 300.

Все статьи проходят рецензирование (экспертную оценку).

Точка зрения редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов публикуемых статей.

Авторы статей несут полную ответственность за содержание статей и за сам факт их публикации.

Редакция не несет ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи.

При использовании и заимствовании материалов ссылка обязательна.

Оглавление

1. ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СУДЕБНОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ..... 2
Башкатова А.А., Вяхирева А.А., Тимошенко М.С.

2. ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКИ И ИЗУЧЕНИЕ ЕЕ ВЛИЯНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА И БЕТОННОЙ СМЕСИ ДЛЯ УСТРОЙСТВА НАПОЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ……..……...…4
Радыгин Р.В.

3. ПОБЕГ ИЗ-ПОД ГОРИЗОНТА СОБЫТИЙ ЧЁРНОЙ ДЫРЫ……..……..…….....7
Путенихин П.В.

4. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ ПОСРЕДСТВОМ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ……...18
Бобун А.А.

5. К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ ЦИФРОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ……..22
Сарсембин А.О., Скиба К.О.

6. ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМ PLM И ERP В УПРАВЛЕНИИ ПРЕДПРИЯТИЕМ……..25
Веселков А.Д.

7. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛЮМОСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК, УЧАСТВУЮЩИХ В ГАЗООБРАЗОВАНИИ В БЕТОННЫХ СМЕСЯХ, ПО КИНЕТИКЕ ВЫДЕЛЕНИЯ ГАЗА…29
Мерзляков А.О.

8. МЕТОДЫ РАСЧЁТА УРОВНЕЙ ТРУДНОСТИ ЗАДАНИЙ И УРОВНЕЙ ПОДГОТОВКИ ТЕСТИРУЕМЫХ……..…32
Романовский Н.С., Дмитриенко Н.А.

9. ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА МЕТОДОМ СЛУЧАЙНОГО БАЛАНСА……..…36
Пересунько П.В., Сорока Е.О.

Башкатова Алина Анатольевна
Bashkatova Alina Anatolyevna
магистр Донского государственного технического университета, г. Ростов-на-Дону, направление «Строительство»
Вяхирева Анна Алексеевна
Vyakhireva Anna Alekseevna
магистр Донского государственного технического университета , г. Ростов-на-Дону, направление «Строительство»
Тимошенко Маргарита Савельевна
Timoshenko Margarita Savelyevna
доцент кафедры городского строительства и хозяйства
Донского государственного технического университета г. Ростов-на-Дону

УДК 699.8

ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СУДЕБНОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ

THE PROBLEMS OF DETERMINING THE TECHNICAL CONDITION OF STRUCTURES IN THE JUDICIIAL EXPERTISE

Аннотация: Необходимость в исследовании экспертом-строителем объекта может возникать в различных ситуациях. В данной статье представлено описание действий эксперта при проведении исследований и поиска решения поставленных задач с целью оценки безопасности объектов строительства.

Annotation: The need for research by an expert developer of the object can arise in various situations. This article describes the actions of an expert in the field of research and finding solutions to problems in order to assess the safety of construction projects.

Ключевые слова: безопасность, эксплуатация, судебная экспертиза, судебный эксперт, строительство.

Keywords: security, operation, forensic examination, forensic expert, construction.

Необходимость в исследовании экспертом-строителем безопасности объекта возникает при установлении возможности использования жилых (производственных) помещений в соответствии с их функциональным предназначением. Это свойство строительного объекта может быть предметом судебной строительно-технической экспертизы (ССТЭ) при рассмотрении судом уголовных дел, предусматривающих уголовную ответственность за выполнение работ, не отвечающих требованиям по безопасности жизни, или здоровья потребителей.

Основное назначение отдельных помещений и здания в целом — удовлетворять жилищно-бытовые, производственные и прочие потребности человека. Наиболее полное соответствие здания, строения предусмотренному проектом назначению, достигается, в частности, при соблюдении технологии строительного производства, на современном техническом уровне проведения проектных, инженерно-изыскательских и иных работ.

Эксплуатационные свойства обусловливают возможность использования объекта в соответствии с его функциональным назначением. Так, порядок эксплуатации зданий предусматривает использование построенных объектов, т.е. использование помещений, систем, прилегающих территорий в определенных целях. Если речь идет о жилом здании, под правильной эксплуатацией подразумевается использование квартир для проживания граждан, удовлетворить потребности которых можно только при бесперебойном функционировании всех инженерных систем, определенных габаритах помещений, обеспечении установленного уровня шума, инсоляции, освещенности в них и пр.

Отвечая на вопрос о соответствии эксплуатационных свойств специальным правилам, следует исходить из того, что предъявляемые к ним требования подразделяются на общие и специальные. Общие требования распространяются на все строения, специальные — на определенные группы зданий, отличающихся спецификой назначения либо технологией производства. Общие и специальные эксплуатационные требования сформулированы в нормах и технических условиях на проектирование определенных группстроений, а индивидуальные специальные требования, обусловливаемые спецификой назначения или конструктивного решения, содержатся в техническом задании на проектирование.

При этом предполагается использование строительных машин, механизмов, приспособлений, технологической оснастки. В соответствии с нормативной документацией подрядчик строительства не вправе использовать в ходе осуществления работ оборудование,если это может привести к нарушению обязательных требований к безопасности строительных работ. При исследовании таких объектов в задачу эксперта входит, как правило, установление безопасности их эксплуатации. К таким свойствам следует относить, например, прочность оборудования — это свойство предусматривается уже на стадии конструирования, а затем изготовления оборудования с учетом механического, теплового и химического воздействия, которому оно должно подвергаться в процессе эксплуатации.

Определяя степень безопасности работы машины или механизма, эксперт должен рассматривать этот объект не как обособленную единицу, а как часть динамической системы, которая объединяет работников, управляющих оборудованием (экскаваторщики, крановщики) и выполняющих организационные и иные функции (сигнальщики, стропальщики), а также такие ее элементы, как участки территории (проезды, проходы и т.д.), рабочие зоны машины, зоны со специальным режимом (зоны постоянно действующих опасных производственных факторов), предупреждающие и запрещающие знаки, ограждения и т.д.

Словом, безопасность строительных машин и механизмов — сложное, многоаспектное понятие, обусловленное рядом факторов (технических, организационных). Решая вопрос о том, обладает ли исследуемый объект свойством безопасности, эксперт создает его идеальную модель и сопоставляет с ней реально существующий объект (мысленную модель ранее существовавшего объекта); наличие и характер выявленных отступлений позволят ему сделать вывод о наличии (отсутствии) у объекта указанного свойства.

Процесс экспертного исследования может быть представлен в виде решения системы задач, включающей общую задачу и цепочку частных задач (подзадач), обеспечивающих решение общей. Общую задачу формулирует следователь или суд, частные — сам эксперт. Решение частной задачи не имеет самостоятельного доказательственного значения, оно только способствует решению общей задачи.

Таким образом, множество объектов экспертного познания применительно к ССТЭ включает в себя все исследуемые экспертом процессы, связанные с предпроэктными гидрогеологическими изысканиями, проектированием, возведением, эксплуатацией, восстановлением (реконструкцией), разрушением и утилизацией строительных объектов.

Библиографический список:

1. Острейковский В. А. Теория надежности: Учебник для ВУЗов - М.: Высш. шк., 2003. - 463 с.

2. Калинин В.М., Сокова С.Д. К17 Оценка технического состояния зданий: Учебник. М.: ИНФРА-М, 2010, 268 с. (Среднее профессиональное образование).

3. Building Failures, Diagnosis & Avoidance, 2d Ed., W.H. Ransom, E.& F. Spoon, New York, 1987 ISBN 0-419-14270-3 - 190 p.

4. Mitchell T. R., James L. R. Building better theory: Time and the specification of when things happen //Academy of Management Review. – 2001. – V. 26. – №. 4. – pp. 530-547.

Радыгин Роман Викторович
Radygin Roman V.
Студент Пермского национального исследовательского
политехнического университета» по направлению «Строительство»

УДК 691.58

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКИ И ИЗУЧЕНИЕ ЕЕ ВЛИЯНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА И БЕТОННОЙ СМЕСИ ДЛЯ УСТРОЙСТВА НАПОЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION OF THE MODIFYING COMPLEX ADDITIVE AND THE STUDY OF ITS EFFECT ON THE CHARACTERISTICS OF CONCRETE AND CONCRETE MIX FOR FLOORING

Аннотация: В статье изучено влияние комплексной добавки состоящей из модификаторов мелфлюкс 5581 и МКЖЛ-3, на раннюю прочность и прочность в проектном возрасте, усадочные деформации, удобоукладываемость бетонной смеси. Осуществлена оптимизация количества добавок для использования в сухой строительной смеси для устройства полов на основе портландцемента.

Abstract: The article studies the effect of a complex additive consisting of meliflux modifiers 5581 and MKZHL-3, on early strength and strength at design age, shrinkage deformation, workability of the concrete mix. The optimization of the amount of additives for use in dry mortar for flooring based on Portland cement has been implemented.

Ключевые слова: комплексная добавка, оптимизация, устройство полов, смесь.

Keywords: complex additive, optimization, flooring, mixture.

Цель – оптимизировать количество и соотношение компонентов комплексной добавки для использования ее в готовых смесях для устройства полов на цементной основе, оценить влияние полученной добавки на характеристики растворной смеси и обработать полученные результаты.

Сущность математического планирования эксперимента заключается в проведении эксперимента по определенному плану, составленному в соответствии с абстрактной математической моделью.[1, с. 6]

Математическое планирование эксперимента

Варьируемые факторы, их коды, а также значения верхнего, среднего и нижнего уровня приведены в таблице 1.

Таблица 1. Факторы и их варьирование

Уровень	X_1	Мелфлюкс 5581	X_2	МКЖЛ-3,%
Нижний	-	0,2	-	8
Средний	0	0,27	0	11
Верхний	+	0,34	+	14

Эксперимент проводится по стандартному плану для трех уровней варьирования и двух факторов. План эксперимента приведен в таблице 2.

Таблица 2. План эксперимента в кодированных и натуральных значениях

№ опыта	В кодированных переменных		В натуральных переменных	
	X_1	X_2	Содержание Мелфлюкс5581, X_1, %	Содержание МКЖЛ-3, X_2, %
1				
2				
3				
4	0	-	0,27	8
5	0	0	0,27	11
6	0	+	0,27	14
7	+	-	0,34	8
8	+	0	0,34	11
9	+	+	0,34	14

В результате проведенного эксперимента были получены данные, они приведены в таблице 3.

Таблица 3. План эксперимента и полученные значения показателей

№ опыта	В кодированных переменных		В натуральных переменных		Значения показателей качества продукта			
	X_1	X_2	Содержание Мелфлюкс 5581, X_1, %	Содержание МКЖЛ-3, X_2, %	Y_1(P, см)	Y_2(Δl,мм/м)	Y_3(R_3, МПа)	Y_4(R_{28}, МПа)
1	-	-	0,2	8	20,6	0,17	21,0	57,9
2	-	0	0,2	11	20,6	0,12	21,3	55,9
3	-	+	0,2	14	17,9	0,14	18,7	54,3
4	0	-	0,27	8	21,6	0,14	21,6	58,5
5	0	0	0,27	11	20,3	0,10	20,9	56,9
6	0	+	0,27	14	19	0,09	19,2	58,0
7	+	-	0,34	8	20,8	0,13	20,7	55,3
8	+	0	0,34	11	21,4	0,10	20,8	58,5
9	+	+	0,34	14	20,6	0,09	18,9	53,8

Обработка полученных результатов.

На основе данных полученных в программе STATISTICA были построены проекции графиков на плоскость и описаны математические зависимости, представленные ниже. [2, с. 56]

Для оценки адекватности математической модели описывающей влияние на расплыв бетонной смеси, усадочные деформации, прочность бетона в возрасте 3-х суток, прочность бетона в возрасте 28-и суток была выбрана модель зависимости с линейными квадратичными взаимодействиями 2-го порядка.

Чтобы определить оптимальные значения варьирования количества (MF5581) и (МКЖЛ) на расплыв, усадочные деформации, прочность в 3е суток, и прочность в 28 суток обратимся к проекции поверхности функции отклика на плоскость YOX, изображенных на рисунках 1,2,3,4 соответственно.

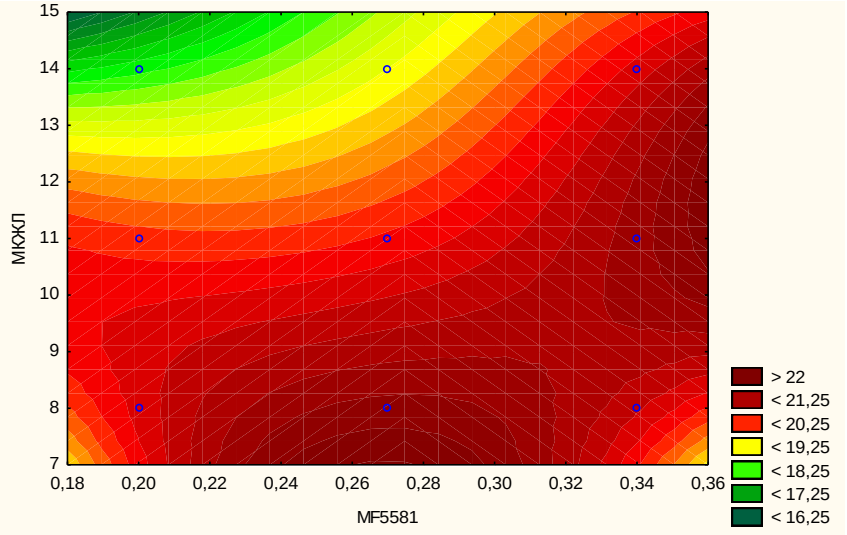

Рис. 1 – поверхность функции отклика расплыва на плоскость.

Следует отметить, что в интервале расхода добавки мелфлюкс 5581 от 0,2 до 0,3 и от 0,34 до 0,36, расходе МКЖЛ от 7 до 8 и от 10 до 13 соответственно выявлено наибольшие значение расплыва. Уравнение функции отклика расплыва описывается по формуле :

$$P=-152,18+1321,97*x-2464,85*x^2+30,51*y-1,31*y^2-229,54*x*y+9,61*x*y^2+425,74*x^2*y-17,57*x^2*y^2$$

где x – MF5581, %; y – МКЖЛ, %

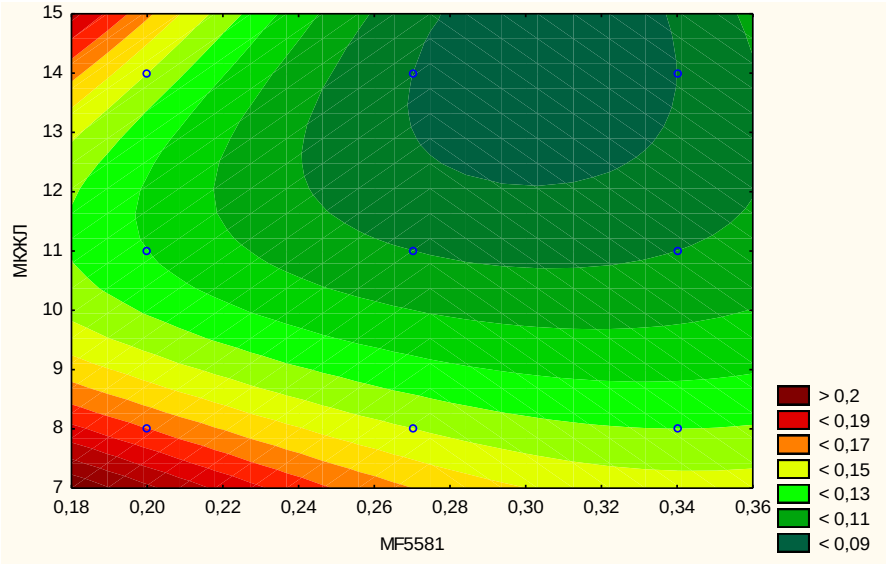

Рис. 2 – Поверхность функции отклика усадочных деформаций на плоскость

Следует отметить, что наименьшее значение усадочных деформаций бетона наблюдается в следующем интервале: MF5581 = 0,28…0,34 и МКЖЛ = 12…14. Уравнение функции отклика усадочных деформаций описывается по формуле:

$$\Delta l=2,29-11,6*x+17,01*x^2-0,4*y+0,19*y^2+2,17*x*y-0,11*x*y^2-3,23*x^2*y+0,17*x^2*y^2$$

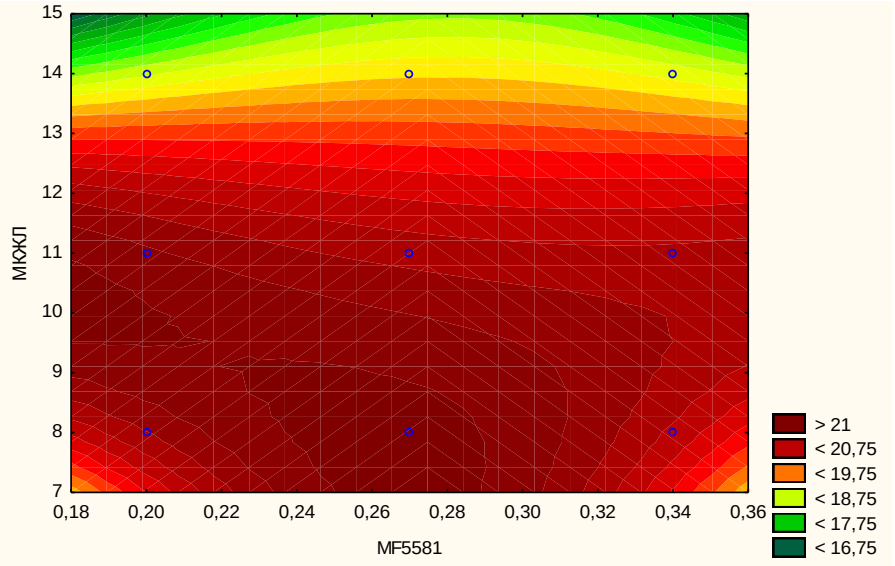

Рис. 3 – Поверхность функции отклика прочности в 3-х дневном возрасте на плоскость

Следует отметить, что наибольшее значение прочности бетона наблюдается в следующем интервале: MF5581 = 0,24…0,28 и МКЖЛ = 8…9. Уравнение функции отклика усадочных деформаций описывается по формуле :

$$R_3=-142,69+1161,46*x-2089,57*x^2+30,02*y-1,35*y^2- 208,99*x*y+9,24*x*y^2+373,58*x^2*y-16,44*x^2*y^2$$

Чтобы оптимизировать состав и определить количество добавки и наполнителя, в готовой к применению смеси, использовалась программа Excel, надстройка «поиск решения». В ней вышеуказанные уравнения были объединены в систему и задавшись необходимыми условиями было найдено решение.

Вывод: результате решения вышеперечисленных задач получено, что наиболее удовлетворяющее значение показателей характеристик, а именно: P=21,73 см; R_3=21,71 МПа; Δl=0,022 мм/м, получилось при значении факторов: мелфлюкс 5581=0,246% и МКЖЛ=8%.

Библиографический список:

1. Серафинович Л.П. Планирование эксперимента: Учебное пособие. — Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2006. — 128 с.

2. Боровиков В.П. Программа STATISTICA для студентов и инженеров. М., 2001.

Путенихин Петр Васильевич
Putenikhin Peter Vasilievich
Независимый исследователь

УДК 53.01; 531.5

ПОБЕГ ИЗ-ПОД ГОРИЗОНТА СОБЫТИЙ ЧЁРНОЙ ДЫРЫ

ESCAPE FROM UNDER THE EVENT HORIZON OF THE BLACK HOLE

Аннотация: Известно, что попасть под горизонт Чёрной дыры можно, но нельзя затем вернуться обратно. В предлагаемой работе рассматриваются некоторые противоречия в таких представлениях. Существует реальная физическая возможность войти в область под горизонтом событий Чёрной дыры и затем беспрепятственно покинуть её.

Abstract: It is know that you can get under the event horizon of a Black hole, but cannot go back. The proposed paper considers some contradictions in such representations. There is a real physical opportunity to enter under the event horizon of a Black hole and then freely leave it.

Ключевые слова: сингулярность; гравитационный радиус; сверхмассивная Чёрная дыра; приливные силы

Keywords: singularity; gravitational radius; supermassive Black hole; tidal forces

Что такое Черная дыра?

Известно, что Чёрные дыры были предсказаны задолго до появления общей теории относительности как объекты, способные удержать на своей поверхности даже свет. Ничто, попав в Чёрную дыру, не может покинуть её:

«Чёрной дырой называют область пространства-времени, в которой гравитационное поле настолько сильно, что не позволяет даже свету покинуть эту область и уйти в бесконечность» [3, с.5].

Однако есть некоторые особые условия, при которых космический корабль может войти в область под горизонтом Чёрной дыры, а затем беспрепятственно её покинуть. Действительно, можно задаться простым вопросом: какой из двух горизонтов «затащит» космолет к себе, если Чёрные дыры находятся по обе стороны от него? В космологии известна так называемая точка Лагранжа, точка между двумя другими массивными телами, находясь в которой тело остаётся неподвижным, не падает ни на одно из этих тел:

«Точки Лагранжа … точки в системе из двух массивных тел, в которых третье тело … может оставаться неподвижным относительно этих тел» [1].

Вполне очевидно, что для космолёта такими массивными телами могут быть две одинаковые Чёрные дыры. Если дыры сблизятся настолько, что их горизонты пересекутся, то корабль окажется одновременно под горизонтами обеих Чёрных дыр и сможет при некоторых условиях покинуть их. Величина приливной силы вблизи горизонта событий зависит от массы Чёрной дыры. Приливные силы сверхмассивных Чёрных дыр достаточно малы и корабль, очевидно, сможет пройти между этими дырами с зоной Лагранжа без повреждений.

При этом следует отметить, что внутреннюю область горизонта, которая образуется пересечением горизонтов двух дыр, называть горизонтом, может быть, не вполне корректно. Действительно, на анимации [4] можно увидеть, как плавно деформируются фактические (в отсутствии поблизости других массивных тел) горизонты сближающихся Чёрных дыр. Хотя космолёт и находится в пределах математического гравитационного радиуса каждой дыры, но напряженность гравитационного поля в этой области существенно меньше, чем под «чистым горизонтом».

Тем не менее, гипотетическая возможность проникнуть под горизонт Чёрной дыры и затем покинуть его всё-таки остаётся. По всей видимости, это возможно, поскольку время на космолёте и под горизонтом дыры для внешнего наблюдателя будет остановлено, и у него есть неограниченное время для «деформации» горизонта дыры. По часам на космолёте при этом пройдёт совсем немного времени, почти мгновение.

Для указанной «деформации» горизонта необходимо, чтобы другая Чёрная дыра прошла «параллельным курсом» или по дуге, но касательно, с небольшим перекрытием задевая исходную Чёрную дыру. Здесь нужно отметить очевидное общепринятое допущение, что под горизонтом

Чёрных дыр находится *пустое* пространство, а вся масса Чёрной дыры сосредоточена в её центре, в сингулярности. Выведенные далее уравнения позволяют построить динамическую математическую модель (анимацию) процесса формирования доступных зон внутри горизонта и на достаточно близком расстоянии от центра Чёрной дыры, её сингулярности:

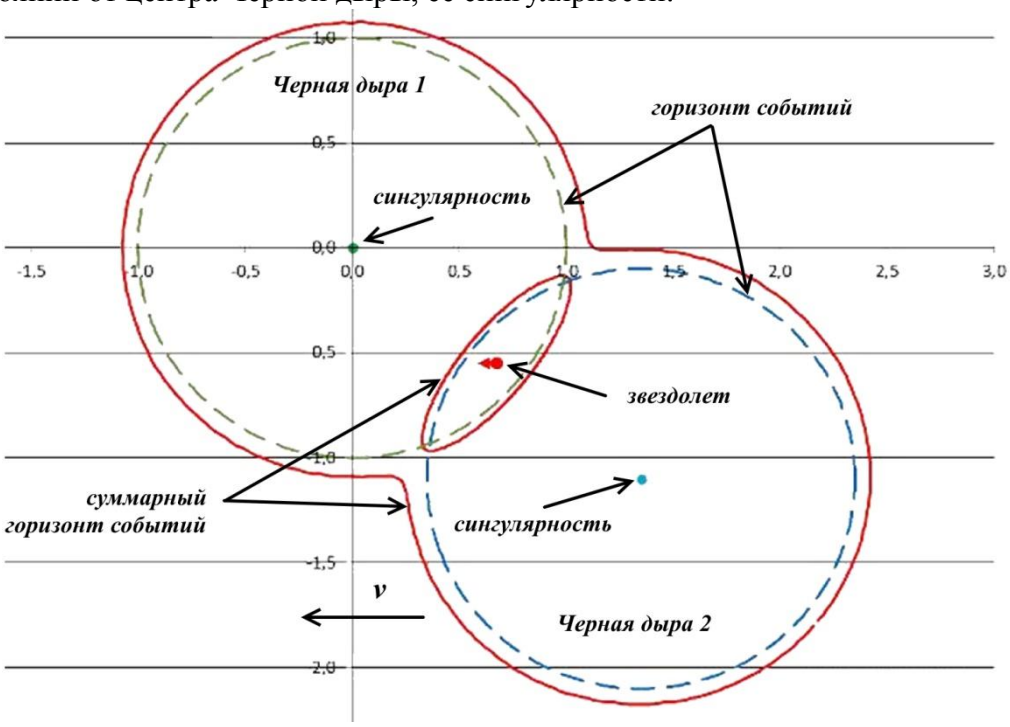

Рис.1. Вхождение космолета под горизонт двух Чёрных дыр и его последующий уход из-под горизонта. Космолёт всегда должен находиться внутри области Лагранжа (тоннеля убегания)

На рисунке штриховыми линиями изображены горизонты условно неподвижной Чёрной дыры (зеленая линия) и дыры, движущейся мимо неё на расстоянии 1,1 r_g (синяя линия). Для простоты принято, что вторая Чёрная дыра движется по прямой линии, хотя все аналогичные расчеты будут справедливы и для движения по частично орбитальной траектории (праща). Все расстояния на рисунке указаны в гравитационных радиусах r_g, поэтому диаметры дыр равны 2 r_g. На расстоянии 0,55 гравитационных радиуса от центра неподвижной дыры движется космолёт (красная стрелка с точкой). Красными линиями изображены окружности фантомных горизонтов Чёрных дыр. Фантомными они названы, напомним, по причине их не вполне ясной сущности. Вроде бы они в определённых условиях совпадают с горизонтами Чёрных дыр $r_g = 2M$, но в других условиях существенно от них отклоняются и даже образуют своеобразные эллипсоидальные полости. Вместе с тем, это всё-таки горизонты, то есть границы, при пересечении которой всякое тело и даже свет неизбежно упадут на сингулярность Чёрной дыры.

Алгоритм построения горизонтов основан на вычислении суммарной силы, действующей на тело со стороны двух одинаковых Чёрных дыр. Согласно закону Ньютона сила притяжения зависит от расстояния между телами. В процессе движения расстояние между космолётом и каждой из Чёрных дыр непрерывно изменяется. Если обозначить как $x_i y_i$ координаты корабля, как R_1 и R_2 расстояния от него до каждой из Чёрных дыр и как $x_1 y_1$ и $x_2 y_2$ координаты их центров, соответственно, то в некоторый момент времени t_i эти расстояния будут:

$$R_1 = \sqrt{(x_i - x_1)^2 + (y_i - y_1)^2}$$

$$R_2 = \sqrt{(x_i - x_2)^2 + (y_i - y_2)^2}$$

Массу космолёта принимаем равной единице. Следовательно, силы притяжения космолёта к двум Чёрным дырам, каждая из которых имеет массу M, будут:

$$F_1 = \frac{GM}{R_1^2} = \frac{GM}{(x_i - x_1)^2 + (y_i - y_1)^2}$$

$$F_2 = \frac{GM}{R_2^2} = \frac{GM}{(x_i - x_2)^2 + (y_i - y_2)^2}$$

Суммарная сила определяется путём векторного сложения этих сил, поскольку они действуют не по одной линии, они не коллинеарные. В этом случае модуль суммарной силы определяется с помощью проекций частных сил на оси координат:

$$F = \sqrt{(F_{1x} + F_{2x})^2 + (F_{1y} + F_{2y})^2}$$

Главным условием образования суммарного горизонта двух Чёрных дыр является равенство результирующей силы той силе, которая удержит космолёт от убегания на бесконечность. То есть, результирующая сила притяжения двух Чёрных дыр на общем горизонте должна быть равна:

$$F = F_0 = \frac{GM}{r_g^2}$$

Это и есть условие образования суммарного горизонта. Этот суммарный горизонт двух Чёрных дыр отличается по расположению в пространстве от их математических горизонтов, поэтому он и назван фантомным. Для космолёта не имеет значения, сколько массивных тел его притягивают. Важно, чтобы эта результирующая сила была точно такой же, как и сила на горизонте одной Чёрной дыры с массой М. Другими словами результирующая сила в пространстве вокруг двух Чёрных дыр образует новую поверхность сложной формы, отличающейся от обычной, сферической. В каждой точке этой поверхности на тело действует сила F_0, не дающая ему уйти на бесконечность.

Для построения этой поверхности воспользуемся методом радарного сканирования, то есть, перебором всех точек пространства вокруг дыр наподобие авиационных радаров и определения силы притяжения в них. Координаты точек, в которых обнаружена сила, равная F_0, изображены на рис.1 красной линией. Как и ожидалось, форма фантомного горизонта имеет замысловатую форму и изменяется в зависимости от расстояния между дырами. При некоторых расстояниях между Чёрными дырами помимо внешнего горизонта образуется ещё и внутренний горизонт – замкнутая линзообразная область.

Для проверки правильности построений рассмотрены два граничных случая. Когда расстояние между дырами равно бесконечности (реально – 10 гравитационным радиусам), фантомный горизонт сливается с математическим. Это видно на первом кадре анимации [4] и на рис.2. Второй случай – слияние двух дыр. В этом случае фантомный горизонт оказался равным 1,4…1,5 гравитационных радиусов, точнее, в √2 раз больше математического. Это действительно так, поскольку при увеличении массы Чёрной дыры в два раза, её горизонт увеличивается именно √2 раз.

Итак, как показано на рис.2 на первом шаге эксперимента, космический корабль, космолёт, прибыл издалека и находится на достаточно безопасном расстоянии от Чёрных дыр. В любое время он может включить свои реактивные двигатели и удалиться от них на бесконечность. Но его задача иная, для выполнения которой он должен всегда находиться точно на середине линии, соединяющей центры Чёрных дыр. Эта точка является точкой Лагранжа.

Издалека к неподвижной Чёрной дыре приближается движущаяся Чёрная дыра такой же массы. Анализ движения начинаем с её удалённости на 10 r_g, – это первый кадр анимации. В момент, когда дыра приблизилась до 6 r_g, появляется (становится видимым) космолёт. В дальнейшем при сближении дыр космолёт корректирует своё положение в пространстве, стремясь всегда находиться в точке (области) Лагранжа.

На рисунке видно, что с внутренней стороны фантомные горизонты обеих Чёрных дыр деформировались, «вдавились» внутрь горизонта математического. Это означает, что любое тело, оказавшись под исходным, математическим горизонтом, уже не будет затянуто Чёрной дыры, тело сможет покинуть эту область. Новым, фактическим горизонтом становится фантомный. В случае попадания под этот горизонт ни тело, ни свет уже не смогут вырваться.

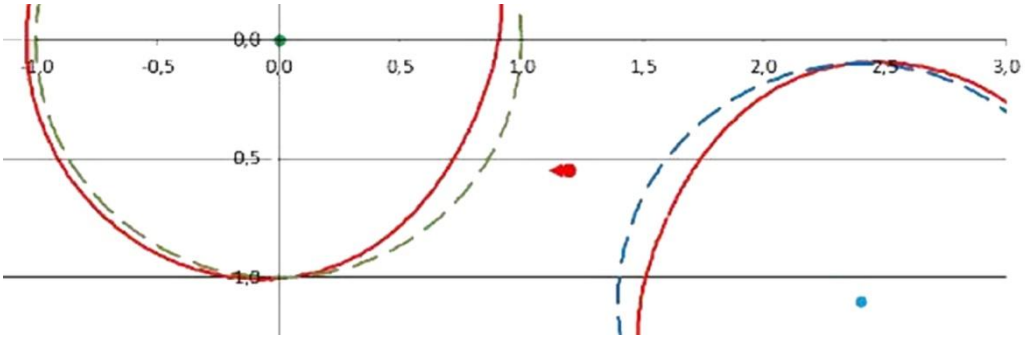

Рис.2. При сближении двух сверхмассивных Чёрных дыр космолёт всегда должен находиться внутри области Лагранжа (вблизи тоннеля убегания)

При дальнейшем сближении Чёрных дыр, деформация горизонтов усиливается и, наконец, образуется особая полость внутри горизонтов Чёрных дыр – рис.3. Эллипсообразная или сплюснутая сферическая полость горизонта (красный овал на рисунке) – это весьма интересное явление в «жизни» Чёрных дыр. Эта полость – тоже пространство, ограниченное горизонтом событий, только это довольно странный горизонт. Обычные горизонты Чёрных дыр поглощают вещество и направляют его внутрь, к своей сингулярности. Особая, фантомная полость горизонта событий между двумя Чёрными дырами делает всё с точностью до наоборот. В центре такой полости тело не испытывает никаких усилий, это точка Лагранжа. А вот если пересечь эту границу, то одна из Чёрных дыр тут же захватит тело и отправит его за пределы этой полости, в свою сингулярность. Присутствие рядом двух чёрных дыр, очевидно, формирует приливные силы, значительно возрастающие от центра полости к её границе.

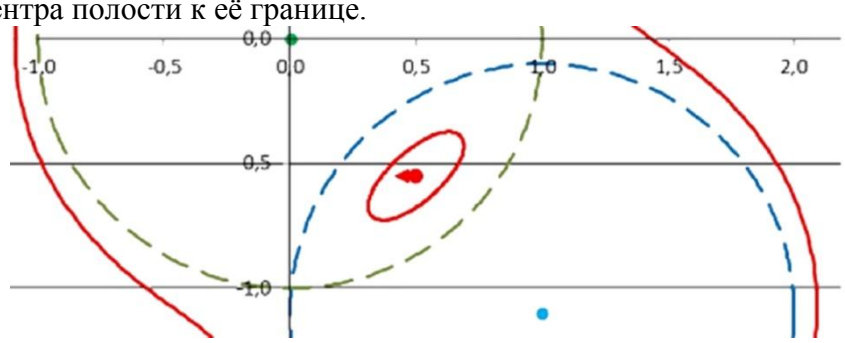

Рис.3. При сближении двух Чёрных дыр образуется полость внутреннего горизонта

Волосы у астронавта в центре этой полости буду стоять торчком, поскольку каждый волосок на его голове будет падать в свою близлежащую сторону горизонта полости. Поэтому наш космолёт стремится двигаться таким образом, чтобы не приближаться к границам этой полости, стараясь всегда находиться в её центре.

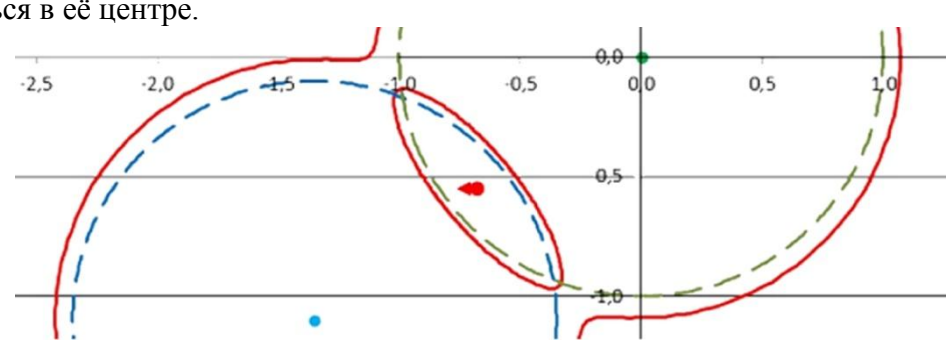

Рис.4. Через некоторое время движения двух Чёрных дыр полость внутреннего горизонта перемещается на другую сторону по ходу движения

Через некоторое время, двигаясь, полость повернётся вокруг центра неподвижной Чёрной дыры и окажется на противоположной стороне по ходу движения – рис.4. Космолёт вместе с полостью переместился на другой край неподвижной Чёрной дыры. Процесс зеркальным образом повторяет то, что было вначале. Поэтому не является неожиданным раскрытие полости и образование тоннеля убегания, то есть, своеобразного коридора, через который космолёт может уйти, убежать от воздействия сил притяжения Чёрных дыр. Теперь уже ничто не мешает космолёту

покинуть промежуточное пространство между дырами – рис.5. То, что космолёт всё ещё находится внутри математических горизонтов обеих Чёрных дыр, ничего не значит. Это всего лишь пустое пространство, в котором каждая из Чёрных дыр, будучи одинокой, захватила бы космолёт. Но здесь этому мешает её напарница. Вдвоём они «тянут» космолёт в разные стороны, давая ему право самому решать, используя свои двигатели, куда двигаться. Реально действующие, фактические горизонты дыр, имеющие название фантомных, теперь уже находятся далеко и не могут помешать космолёту свободно удалиться. Ему нужно лишь одно: покинуть область *математических* горизонтов Чёрных дыр, очерченную штриховыми линиями, до того, как дыры разойдутся достаточно далеко друг от друга.

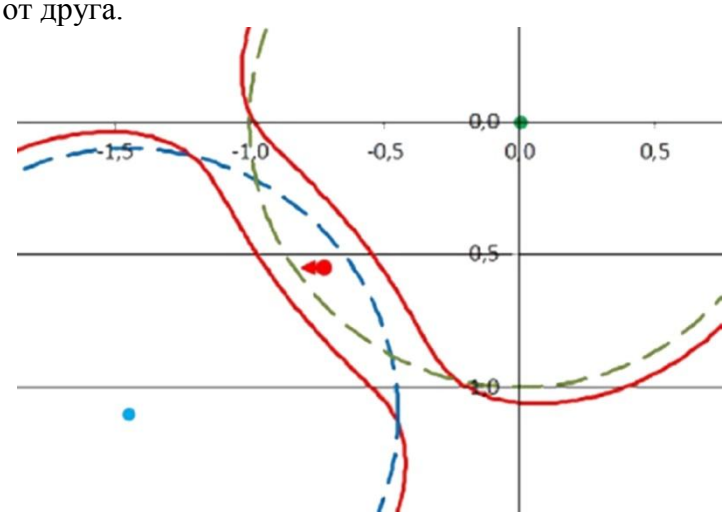

Рис.5. Две Чёрные дыры разошлись и образовали тоннель убегания

Итак, мы видели картину, как космолёт приблизился к центрам Чёрных дыр на расстояние почти в половину их гравитационных радиусов. Как это возможно? Ведь теория относительности не допускает возможности пересечения горизонта изнутри, а тело, попавшее под него, с неизбежностью упадёт на сингулярность. Здесь, в описанном мысленном эксперименте такого падения не происходит! То, что истинные горизонты двух Чёрных дыр никуда не исчезли, можно увидеть, если предположить, что они сблизятся на расстояние, меньшее гравитационного радиуса. В этом случае они окажутся под гравитационными радиусами друг друга и, вне всяких сомнений, сольются в одну. Внутренняя область на таком расстоянии уменьшается до нуля.

Конечно, можно утверждать, что расчеты содержат ошибки. Но это не имеет особого смысла и легко проверяется. Сама же логика эксперимента говорит: всё должно происходить так, как описано. И, как это часто бывает, этот эксперимент не столько даёт ответы, сколько ставит новые вопросы.

Первое, что, вполне возможно, может сразу прийти в голову: получается, теория относительности неверна? Нет, это плохой, мало что проясняющий вопрос. Конечно, некоторые ведущие космологи допускают, что сингулярность – это свидетельство ошибочности теории или, по крайней мере, свидетельство её неполноты. Однако было бы намного лучше выполнить все расчеты по данному эксперименту более полно, в рамках общей теории относительности. Вполне возможно, что решение окажется иным и космолёту не выжить внутри горизонтов. Хотя такой исход крайне маловероятен. Пришлось бы отказаться от некоторых ныне вполне дееспособных физических законов, лишь бы получить релятивистское опровержение этого эксперимента.

Но, если этот мысленный эксперимент справедлив, тогда возникают другие вопросы. При коллапсе нейтронной звезды в Чёрную дыру, согласно общей теории относительности, время на её горизонте замедляется настолько, что для внешнего наблюдателя движение полностью прекращается. Это означает, что вещество звезды с его точки зрения практически *никогда* не достигнет сингулярности и даже самой поверхности горизонта. Другими словами, для внешнего наблюдателя *сингулярности не существует*. Всё вещество звезды, её поверхность останутся на своих местах, тех местах, где их видели в последний раз. То есть, условно говоря, пространство под горизонтом Чёрной дыры – это не есть пустое, эфемерное, хотя и гравитирующее пространство. Это вполне твёрдая, из спрессованных нейтронов поверхность, сквозь которую не провалишься.

И при этом наш космолёт свободно прошёл сквозь эту «нейтронно-бетонную» стену! Так прошёл или же распался на нейтроны? Вот это уже интересный вопрос. Считается, что астронавт,

падающий в *сверхмассивную* Чёрную дыру, не испытает никаких воздействий. Он даже не заметит момента, когда пересечёт горизонт. Только позади себя он увидит небо, пылающее множеством Солнц. Это вполне вероятно, поскольку за время его падения на сингулярность снаружи пройдёт вечность, и весь свет, падающий на Чёрную дыру с его стороны, превратится в один мощнейший поток фотонов, копившихся вечность, но прилетевших в один момент.

Вторая Чёрная дыра из нашего эксперимента, пролетевшая мимо и лишь частично коснувшаяся горизонта, также пролетит мимо него за один краткий миг. И полость фантомного горизонта – тоже.

Что произойдёт в этом случае? В полости время течёт как снаружи, ведь в ней нет такого сильного искривления пространства-времени. Коснувшись этой полости, оказавшись в ней, свободно падающий астронавт окажется вдруг во времени внешнего наблюдателя. И все скорости движения и темп времени у него станут такими же. А это, видимо, означает одно: спасение. Ему только-то и нужно, что попасть в дрейфующий с полостью космолёт.

Всё это произойдёт спустя мгновение после перехода астронавта под горизонт Чёрной дыры. Более того, он даже и не заметит, что был в остановленном времени. При этом у внешних наблюдателей для такого спасения есть тысячи и миллионы лет. Здесь явно видна машина времени. Но только для астронавта и только для движения в будущее.

В точке максимального сближения двух Чёрных дыр величина приливных сил достигнет наибольшего градиента. При малейшем отклонении от центра фантомной полости они будут возрастать вплоть до величины на горизонте. Выдержит ли астронавт и космолёт эти силы? Каковы должны быть размеры Чёрных дыр и величина перекрытия их гравитационных радиусов, чтобы космолёт разумных размеров не был разорван внутренними приливными силами?

И, наконец, вопрос о составе вещества вблизи горизонта, под ним. Он остался без ответа. Можно предположить, что в области перекрытия горизонтов при встрече с фантомной полостью вещество мгновенно упадёт в центры Чёрных дыр, на их сингулярности. То есть, фантомный горизонт как бы «утрамбует» нейтроны там, где пройдёт. Пока это неясно.

Сингулярная неполнота теории относительности

Существующая гипотеза о сжатии коллапсирующей нейтронной звезды до сингулярного состояния опирается фактически на единственный, не очень убедительный постулат, согласно которому жесткие нейтроны с некоторым определённым радиусом превратились в пылинки с бесконечно малым объёмом и массой нейтрона, окруженные некоторой упругой сферической оболочкой, оказывающей слабое давление при сжатии, – вырожденный фермионный газ.

Нуклоны могут притягиваться с силой в 10^{38} раз превосходящей силу гравитации, что придаёт гипотезе о вырожденном фермионном газе довольно странный смысл. Соответственно, и сингулярность как физическая реальность на таком зыбком фундаменте выглядит весьма странно.

Напротив, можно рассмотреть вполне логичную модель, по которой внутри Чёрной дыры объём вещества не стремится к сингулярному нулю, поэтому и плотность его также не является бесконечно большой. Давления плотно сжатого вещества, а это уже, очевидно, не вырожденный фермионный газ, вполне достаточно, чтобы удержать его от дальнейшего сжатия. То есть, можно использовать обычные физические законы для описания этого вещества. Для большей наглядности этот процесс на рис.6 показан в виде кадров из анимации [4].

На рисунке нейтронный шар звезды просто уходит под горизонт, не меняя своих размеров и не падая на сингулярность. Изначально нейтронная звезда имеет массу $1{,}4M_c$ – масс Солнца. В процессе эволюции она поглощает внешнее вещество порциями, и при увеличении её массы до критической она просто исчезает под возникшим горизонтом событий. Никакого коллапса в сингулярность для этого не требуется. Также очень хорошо видно – для образования горизонта Чёрной дыры совершенно не нужна никакая сингулярность. Обычный, нормальный объём нейтронов, даже не сжатых до плотности атомного ядра, создаёт тот же самый эффект горизонта. Нужна ли здесь лишняя сущность? Тем не менее, хотя сингулярность и базируется на довольно шатком фундаменте, но, может быть, она всё-таки образуется при дальнейшем росте массы Чёрной дыры? В этом случае, очевидно, для возникновения сингулярности необходимо, по меньшей мере, чтобы сила притяжения нейтрона на поверхности нейтронной звезды превышала силу сильного ядерного взаимодействия.

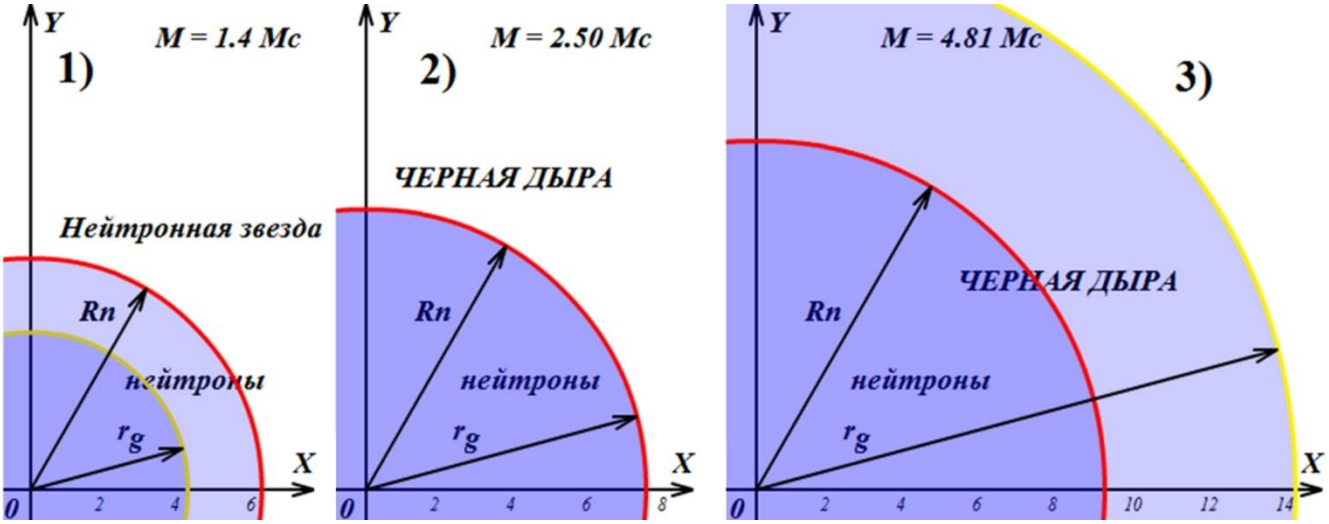

Рис.6. Процесс коллапса нейтронной звезды

Исходя из этого условия, можно вычислить радиус "исходной нейтронной звезды", требующий сжатия в сингулярность, радиус своеобразного "атомного ядра" Чёрной дыры. И в самом деле, чему должен быть равен диаметр внутреннего нейтронного "ядра" сверхмассивной Черной дыры, при котором сила гравитации на его поверхности превысит силу сильного ядерного взаимодействия? То есть, мы предполагаем, что вещество Черной дыры сразу после коллапса не схлопывается в сингулярность, а всё вновь захваченное ею вещество равномерно ложится на поверхность исходной Черной дыры, её нейтронное "ядро". Конечно, все это можно увидеть только с точки зрения внутреннего наблюдателя.

Для такого наблюдателя всё вещество будет неизбежно падать на поверхность условно сколлапсировавшей нейтронной звезды, увеличивая на её поверхности силу притяжения, ускорение свободного падения. Следовательно, можно ожидать, что рано или поздно для этого наблюдателя сила гравитационного притяжения нейтрона на поверхности такой сверхмассивной нейтронной звезды превысит силу сильного ядерного взаимодействия.

В этом случае возникает то самое подобие громадного "атомного ядра", вырвать из которого нейтрон будет существенно труднее, чем из обычного ядра. Если сильное взаимодействие удерживает нейтроны в составе ядра, то возникшее ещё более сильное гравитационное взаимодействие, видимо, деформирует ядро вплоть до сингулярности, поскольку с уменьшением такого ядра сила сдавливания будет только увеличиваться. Поэтому так и будем считать, что у сил ядерного отталкивания есть предел и гравитация способна его преодолеть. Иначе говоря, для возникновения сингулярности, необходимо, как мы считаем, чтобы сила притяжения нейтрона на поверхности нейтронной звезды, по меньшей мере, превышала силу сильного ядерного взаимодействия $F_{яв}$. Оценим величину этой силы для обычной ядерной плотности. При вычислениях будем использовать следующие приблизительные значения величин:

Масса покоя нейтрона, M_n	2×10^{-27} кг
Радиус нейтрона, r_n	4×10^{-16} м
Гравитационная постоянная, G	$6{,}67\times10^{-11}$ м^{3}с$^{-2}$кг$^{-1}$
Масса Солнца, M_c	$1{,}99\times10^{30}$ кг
Скорость света, c	299`792`458 м/с

Рассмотрим два нейтрона, находящиеся друг от друга на расстоянии не ближе, чем расстояние сильного взаимодействия между нуклонами в атомном ядре $r_{св}\sim10^{-15}$ м. Следовательно, сила их гравитационного притяжения, условная «сила гравитационного сильного взаимодействия» равна:

$$F_{гсв}=\frac{GM_nM_n}{r_{св}^2}=\frac{2\times6{,}67\times10^{-11}\times5\times10^{30}\times2\times10^{-27}}{\left(10^{-15}\right)^2}\approx8\times10^{-18}kg$$

Разумеется, это несколько условная сила гравитационного притяжения. Это сила, с которой нуклоны должны притягиваться для образования *гравитационного* атомного ядра. Ядерные силы сильного взаимодействия сильнее гравитационной в 10^{38} раз. То есть, нуклоны в ядре должны *гравитационно* притягиваться с силой большей, чем обычное гравитационное притяжение, с силой, равной, по меньшей мере, силе ядерного сильного взаимодействия $F_{яв}$:

$$F_{яв} = F_{гсв} \times 10^{38} \approx 8 \times 10^{20} kg$$

Это та сила, с которой нейтрон на поверхности звезды должен гравитационно притягивается к следующему слою, чтобы образовалось некое подобие атомного ядра. Такую силу гравитационного притяжения нейтрона $F_г$ может обеспечить только звезда радиусом $R_{нз}$ и общей массой $M_{нз}$, которую определяем из уравнения:

$$F_г = \frac{GM_{нз}M_n}{R_{нз}^2} \geq F_{яв}$$

Объем $V_{нз}$ исходной, до сингулярности нейтронной звезды и объём V_n одного нейтрона без сжатия равны

$$V_{нз} = \frac{4}{3}\pi R_{нз}^3; \quad V_n = \frac{4}{3}\pi \cdot r_n^3$$

Поскольку между считающимися сферическими нейтронами в нейтронной звезде остается незанятое пространство, то общее число нейтронов будет немного меньше. Следовательно, в объеме звезды поместится N_n нейтронов с учетом коэффициента уплотнения $k_{пл}$=0,74.

$$N_n = \frac{V_{нз}}{V_n} k_{пл}$$

Это количество нейтронов и создают массу искомой нейтронной звезды

$$M_{нз} = M_n N_n = \frac{M_n k_{пл}}{\frac{4}{3}\pi \cdot r_n^3} \frac{4}{3}\pi R_{нз}^3 = \frac{M_n R_{нз}^3 k_{пл}}{r_n^3}$$

Используя это выражение, находим

$$F_г = \frac{M_n R_{нз}^3 k_{пл}}{r_n^3} \times \frac{GM_n}{R_{нз}^2}$$

Откуда

$$F_г = \frac{GR_{нз}M_n^2 k_{пл}}{r_n^3}$$

Подставляем значения величин и находим

$$F_г = R_{нз} \frac{GM_n^2 k_{пл}}{r_n^3} =$$

$$= R_{нз} \frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 4 \times 10^{-54} \times 0{,}74}{64 \times 10^{-48}} \geq F_{яв} = 8 \times 10^{20} kg$$

Отсюда вычисляем радиус "исходной нейтронной звезды" до сжатия в сингулярность, своеобразного "атомного ядра" в центре этой гипермассивной Черной дыры

$$R_{нз} \geq \frac{8 \times 10^{20}}{3 \times 10^{-18}} = 2{,}3 \times 10^{38} m \approx 2{,}3 \times 10^{22} св.лет$$

Сразу же возникает вопрос, насколько вероятно увеличение Чёрной дыры до таких размеров, если радиус наблюдаемой Вселенной меньше и составляет $13{,}7 \times 10^{12}$ св. лет? Если оценить для справки массу полученной гипермассивной Чёрной дыры, она должна быть равна

$$M_{инз} = \frac{R_{нз}^3 M_n k_{пл}}{r_n^3} = \frac{(2{,}3 \times 10^{38})^3 \times 4 \times 10^{-54} \times 0{,}74}{64 \times 10^{-48}} \approx 10^{108} kg \approx 10^{78} M_c$$

а её гравитационный радиус составит

$$r_g = \frac{2GM}{c^2} = \frac{2 \times 6{,}67 \cdot 10^{-11} \times 10^{108}}{9 \times 10^{16}} \approx \frac{2 \times 6{,}67 \times 10^{81}}{9} \approx 10^{81} m \approx 10^{65} св.лет$$

Такой результат выглядит весьма нереалистично, такая Чёрная дыра физически вряд ли возможна. Ведь даже согласно стандартной инфляционной модели теории Большого взрыва, полная масса вещества перед рождением Вселенной должна была превосходить всего лишь 10^{50} т, то есть в 10^{55} раз меньше, а размеры её на много порядков превосходят радиус наблюдаемой Вселенной.

Также для справки оценим вес единичной массы на горизонте событий этой гипермассивной Черной дыры

$$F_{ед} = \frac{GM_{ЧД}}{r_g^2} = \frac{GM_{ЧД}}{\left(\frac{2GM_{ЧД}}{c^2}\right)^2} = \frac{c^4}{4GM_{ЧД}}$$

Отметим известное обстоятельство: вес любого тела на горизонте событий Черной дыры тем меньше, чем больше масса этой дыры. Что особенно интересно: при бесконечно большой массе Черной дыры на её горизонте событий будет фактически невесомость. Для вычисленной гипермассивной Черной дыры вес гири массой в 1 кг на горизонте событий составит

$$F_{ед} = \frac{c^4}{4GM_{ЧД}} = \frac{81\times10^{32}}{4\times\ 6{,}67\times10^{-11}\times10^{108}} \approx 3\frac{10^{32}}{10^{97}} \approx 3\times10^{-66}кГ$$

Особого удивления это не должно вызывать, поскольку гравитационный радиус растет быстрее, чем её масса. При этом первая космическая скорость будет равна

$$v_1 = \sqrt{\frac{GM_{ЧД}}{r_g}} = \sqrt{\frac{6{,}67\times10^{-11}\times10^{108}}{10^{81}}} \approx \sqrt{7\frac{10^{108}}{10^{92}}} \approx 3\times10^8 m/\sec \approx c$$

Для сравнения найдем также вес единичной массы в 1 кг и на горизонте минимальной Черной дыры

$$F_{ед} = \frac{c^4}{4GM_{ЧД}} = \frac{81\times10^{32}}{4\times6{,}67\times10^{-11}\times2{,}5\times10^{30}} \approx \frac{10^{32}}{10^{19}} \approx 10^{13}кГ$$

Заметим, что нуклоны в атомном ядре притягиваются друг к другу силой ядерного взаимодействия, которая в 10^8 раз больше силы притяжения единичной массы. Другими словами, этой силы недостаточно даже для того, чтобы "вдавить" нуклон в атомное ядро.

Противоречия в описании Чёрной дыры

Считается, что решение Шварцшильда для стационарной Чёрной дыры является одним из первых точных решений уравнений Эйнштейна общей теории относительности, теории гравитации. Обычно говорят, что именно он вычислил, предсказал возможность существования космологических объектов, особых звёзд – Чёрных дыр. Однако известно, что они также были явно предсказаны и в рамках физики Ньютона. Главное свойство, особенность таких особых звёзд была отражена в их названии – Чёрная дыра. Действительно, визуально эти звёзды выглядят как некая дыра, провал в пространстве-времени, в который вещество и даже излучение, свет проваливаются как в обычную яму, бездонную дыру.

Тем не менее, многие удивительные, фантастические предсказания общей теории относительности получили и реальные экспериментальные, наблюдательные подтверждения, что поставило теорию на одно из первых мест среди научных теорий. Но здесь придется сделать одно важное замечание. То, что получено в результате вычислений или наблюдений, само по себе – лишь символы, знаки, изображения, которые говорить не умеют. Нужны их интерпретации, трактовки. Но у трактовок, как известно, всегда имеется неприятная сторона – субъективность. Поэтому некоторые предсказания и наблюдения нередко можно рассматривать не как подтверждение этих трактовок, интерпретаций, а, наоборот, как их опровержение. И такие опровержения можно найти по целому ряду наблюдений или математических предсказаний теории относительности. Например, невозможность уйти из-под горизонта событий Чёрной дыры.

Если ознакомиться с темой гравитационной сингулярности на форумах в интернете, в научной и научно-популярной литературе, в научно-популярных документальных фильмах и учебниках, то можно увидеть единодушное мнение о том, что на расстоянии гравитационного радиуса от Чёрной дыры время останавливается, скорость падающего на Чёрную дыру тела приближается к скорости света, а разрывающая, приливная сила, действующая на него, приближается к бесконечности. Однако можно заметить и упоминаемые как-то вскользь отклонения. Исходя из этих утверждений, можно сделать вывод: фактически ни одна из наблюдаемых Чёрных дыр в принципе не может иметь внутри сингулярности, а падение на сверхмассивную Чёрную дыру, вообще-то, вполне безопасно для астронавта. Из этого можно прийти еще к одному странному выводу: утверждение о фатальных всё-поглощающих свойствах Чёрной дыры несколько преувеличены. Поэтому в общем случае следующее утверждение является ошибочным:

"... любой безрассудный специалист по ракетной технике, рискнувший попасть под

гравитационный радиус r = 2M внешнего гравитационного поля, обречен на гибель" [2, с.66].

В случае сверхмассивной Чёрной дыры такое огромное усилие возникает, только если тело неподвижно на горизонте. Однако для свободно падающего тела (лифт Эйнштейна) это усилие исчезает, а вместо неё возникает приливная сила, величина которой может быть ничтожно малой. Расчеты показывают, что приложенная к телу человека приливная сила при его падении, например, под гравитационный радиус сверхмассивной Чёрной дыры в центре Млечного Пути ничтожно мала – меньше грамма. Фактически этот человек находится в состоянии невесомости!

Однако в случае коллапсирующей в Чёрную дыру нейтронной звезды ситуация совсем иная. Она рассмотрена, например, в учебнике "Гравитация" [2, с.63] в отношении астронавта, падающего вместе с поверхностью коллапсирующей нейтронной звезды, и участь которого незавидна. В отличие от падения под горизонт событий коллапсирующей Чёрной дыры, падение под горизонт событий сверхмассивной Чёрной дыры не наносит участнику никаких повреждений. В этом случае смертельно опасные приливные силы настолько малы, что падение становится безопасным.

Если применить уравнения из указанного учебника к сверхмассивной Чёрной дыре в центре нашей галактики Млечный Путь, то можно найти, что на астронавта, массой μ, находящегося на расстоянии гравитационного радиуса r_g от центра ЧД массой M действует сила притяжения:

$$F = \frac{G\mu M}{r_g^2} = \frac{6{,}67\times10^{-11}\times75\times7{,}4\times10^{36}}{(6{,}75\times10^{9})^2} = 8\times10^{8}\,кГ$$

Это огромное усилие возникает только в случае, если тело неподвижно. Для свободно падающего тела (лифт Эйнштейна) это усилие исчезает, остается только приливная сила. Её разрывное усилие, приложенную к астронавту ростом h равно:

$$F = \frac{G\mu M}{r^2} - \frac{G\mu M}{(r+h)^2} \approx 0{,}0004\,кГ$$

Как видим, эта приливная сила имеет ничтожно малую величину, не представляющую для астронавта никакой опасности. Фактически он находится в невесомости.

Это довольно интересное обстоятельство – невесомость на гравитационном радиусе Чёрной дыры. Но это явно следует из того, что сила притяжения обратно пропорциональна квадрату расстояния, и, следовательно, обратно пропорциональна массе Чёрной дыры. Следовательно, сила притяжения некоторого тела к Чёрной дыре на расстоянии гравитационного радиуса будет тем меньше, чем больше масса этой дыры. Получается, что при некоторой массе такой Чёрной дыры на тело будет действовать сила притяжения, например, как на поверхности Земли. Например, груз массой в 1 кг будет весить 1 кГ на горизонте Чёрной дыры с массой:

$$M_{ЧД} = \frac{c^4}{4G} = \frac{81\times10^{32}}{4\times\ 6{,}67\times10^{-11}} \approx 3\times10^{43}kg \approx 3\times10^{13}M_c$$

Гравитационный радиус (размеры) такой Чёрной дыры

$$r_g = \frac{2GM}{c^2} = \frac{2\times\ 6{,}67\times10^{-11}\times3\times10^{43}}{9\times10^{16}} \approx 4\times10^{15}m \approx 0{,}4\ \ св.лет$$

Это огромная масса даже для сверхмассивной Чёрной дыры. Но её размеры – 0,4 св. лет – ничтожно малы даже в масштабах нашей галактики. Конечно, возможность образования такой Чёрной дыра, выглядит все-таки довольно сомнительно, поскольку она почти в 1 000 раз больше массы возможного кандидата на предельную сверхмассивную Чёрную дыру. Считается, что Чёрные дыры в квазарах, имеющих аккреционные диски, не могут иметь массу больше, чем $5\times10^{10}M_C$. Тем не менее, как обычно говорят, физически она ничему не противоречит.

Кроме того можно обнаружить еще одно интересное свойство сверхмассивных Чёрных дыр. Согласно общепризнанному мнению, из-под горизонта Чёрной дыры невозможно ни уйти, ни подать наружу какой-либо сигнал. Однако для вычисленной Чёрной дыры это правило, похоже, может быть нарушено. На горизонте событий такой Чёрной дыры действует сила притяжения как на поверхности Земли. А на горизонте вычисленной выше гипермассивной Черной дыры сила притяжения вообще ничтожно мала. Что может помешать световому лучу покинуть его? Есть даже возможность подняться космолету над этим горизонтом.

Почему это так? Из чего следует, что из-под горизонта сверхмассивной Чёрной дыры вопреки утверждениям теории относительности можно уйти? Рассмотрим ситуацию с обратной стороны: откуда возникло утверждение о невозможности уйти из-под горизонта событий.

Допустим, некий космолет попадает под горизонт такой сверхмассивной Чёрной дыры. Согласно уравнениям теории относительности, величина первой космической скорости будет равна скорости света, поэтому, как утверждается, он не может ни улететь, ни послать световой сигнал наружу. Однако это утверждение имеет несколько иные основания, чем традиционно молчаливо подразумеваемые. На гравитационном радиусе Чёрной дыры невозможна *стационарная* орбита спутника, поскольку тангенциальная скорость, равная скорости света, для него недостижима. Обращаем внимание: скорость *тангенциальная*, то есть, перпендикулярная к радиусу. В этом, собственно, и состоит смысл первой космической скорости, из которой и определяют гравитационный радиус.

Однако первая космическая скорость определяет условие инерционного (без двигателей) движения по некоторой орбите. Зададим такой вот странный на первый взгляд вопрос: с какой скоростью должен лететь космолёт, чтобы улететь, например, с Земли? Ответ – со второй космической скоростью – неверный. Правильный ответ: с любой ненулевой скоростью, а вовсе не со второй космической скоростью. По определению скорость обозначает изменение расстояния между объектами за некоторое время. Если космолёт движется от Земли по радиусу со скоростью 4 км/час, то, очевидно, он рано или поздно покинет не только Землю, но и Солнечную систему.

Это прямо означает, что первая космическая скорость задает условие *инерционного* (без двигателей) движения по некоторой орбите. Но она не имеет никакого отношения к активному движению – с включенными двигателями – по радиусу. В нашем конкретном случае сверхмассивной Чёрной дыры на космолет действует сила притяжения, в точности равная таковой на поверхности Земли. Весит он ровно столько, сколько и на Земле. Возникает естественный вопрос: что может помешать звездолету, включив двигатели, подняться вверх, удалиться от центра Чёрной дыры? Тяга двигателей, очевидно, обеспечит существенно большее усилие, чем притяжение Чёрной дыры в этой точке. Конечно, и уйти на бесконечность ему будет непросто: потребуется очень много топлива. Но главное – уйти из-под горизонта такой Чёрной дыры ему ничто не мешает.

Но как же все-таки быть с первой космической скоростью? Очень просто. Этот космолет с выключенными двигателями, действительно, не сможет остаться на стационарной орбите и неизбежно упадёт на сингулярность. Хотя уйти на бесконечность ему будет непросто, но уйти из-под горизонта такой Чёрной дыры ему ничто не мешает. И, тем более, послать наружу световой или радиосигнал.

И в этом случае возникает ряд возможностей. Например, космолет может выйти в наружную окрестность горизонта, где он будет подхвачен спасательным кораблём. Но и находясь под горизонтом, космолёт может спокойно обмениваться радиосигналами с кораблём, находящимся вне горизонта. Описанные в литературе эксперименты с падением на сингулярность приобретают весьма реальные очертания для осуществления. На довольно большом расстоянии под горизонтом сверхмассивной Чёрной дыры какой-либо зонд может передавать сигналы наружу. Например, видеофильм о том, что видит наблюдатель в космолете, падающем под горизонт событий.

Можно возразить, что эти рассуждения явно опираются на формализм ньютоновой физики. Несомненно это допустимо, поскольку иначе вышло бы, что согласно заявлениям теории относительности ньютонова физика в области своей *применимости* предсказывает *иной* исход, чем теория относительности. Для последней это автоматически становится противоречием. Таким образом, и в этом случае мы находим явные отклонения от общепринятых выводов теории относительности, выявленные её математическими средствами возможности обойти её же запреты: уйти из-под горизонта сверхмассивной Чёрной дыры и обмениваться сигналами с внешним миром возможно в принципе.

Библиографические ссылки:

1. Википедия. Точки Лагранжа, URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Точки_Лагранжа

2. Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж., Гравитация, т.3. – М.: "Мир", 1977

3. Новиков И.Д., Фролов В.П., Физика Чёрных дыр. – М. : Наука., Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986, 328 с.

4. Дополнения и анимации к статье, Самиздат, URL: http://samlib.ru/p/putenihin_p_w/escapebh-dop.shtml

Бобун Александра Андреевна
Bobun Aleksandra Andreevna
Студент Дальневосточного государственного университета путей сообщения,
Электроэнергетический институт, направление «Системы обеспечения движения поездов».

УДК 621.313

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ ПОСРЕДСТВОМ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

TRAIN TRAFFIC SYSTEMS EFFICIENCY INCREASE BY IMPROVING THE ELECTRIC ENERGY QUALITY

Аннотация: в статье обосновывается актуальность и практическая значимость задачи повышения качества электрической энергии на объектах системы электроснабжения электрифицированных железных дорог. На примере системы автоблокировки железной дороги рассматриваются этапы и перспективные способы повышения качества электрической энергии для систем обеспечения движению поездов.

Annotation: the article substantiates the relevance and practical significance of the task of improving the quality of electric energy at the facilities of the power supply system of electrified railways. Using the example of the railroad auto-blocking system, the stages and perspective ways of improving the quality of electrical energy for train traffic systems are considered.

Ключевые слова: качество электрической энергии, автоблокировка, продольная емкостная компенсация, показатели качества электрической энергии.

Keywords: quality of electric energy, automatic blocking, serial capacitive compensation, electric energy quality indicators.

Качество электрической энергии (КЭ) должно соответствовать определенным, установленным законодательно, нормам. Это требование является аксиомой для работы электроустановок (ЭУ) как в России, так и в любой стране современного мира. Так, в «Энергетической стратегии России на период до 2030 г» - основном стратегическом документе отечественной энергетики, записано, что задачи развития энергетики и поддержание КЭ «идут нога в ногу по одному направлению» [1]. Отсюда следует, что задача обеспечения КЭ является актуальной и ей отводится важная роль на данном этапе развития науки и техники.

Согласно ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» качество электрической энергии - есть степень соответствия характеристик электрической энергии в данной точке электрической системы совокупности нормированных показателей или ПКЭ [2].

Для электроэнергетической системы электрическая энергия (ЭЭ) не только продукт, который она производит, перемещает на расстояние и доставляет до потребителя. ЭЭ в силу своих физических особенностей потребляется и элементами системы электроснабжения. Низкое качество этого продукта не только нежелательно потребителям энергосистемы, но и затрудняет работу самих элементов энергосистемы. Отсюда следует, что для повышения уровня работы как элементов системы электроснабжения, так и для потребителей ЭЭ, высокое КЭ должно обеспечиваться повсеместно на всех этапах технологических процессов.

Низкий уровень КЭ в виде высоких значений, нормируемых по ГОСТ 32144-2013 соответствующих значений показателей качества электроэнергии (ПКЭ) приводит к ряду проблем [2,3,4]. Согласно ГОСТ 32144-2013 КЭ - это степень соответствия характеристик электрической энергии в данной точке электрической системы совокупности нормированных показателей или ПКЭ. Прежде всего, исследователи этой проблемы отмечают снижение нормируемых сроков службы электротехнического оборудования, повышение уровня потерь электрической энергии, неправильной работе высокоточных элементов системы, перебоям в системе электропитания различных вспомогательных систем. Для человека проблема низкого качества электрической энергией также проявляется негативно – к примеру, хорошо всем знакомое мерцание приборов освещения, связанное

с одним из важных ПКЭ, нормируемым ГОСТ, дозой фликера выражается в виде негативных для здоровья человека последствий – повышение утомляемости, снижение остроты зрения, развитие глаукомы и катаракты [2].

На рис.1. представлены основные причины ухудшения качества электроэнергии.

Рис. 1. Причины нарушений КЭ.

Как следует из рис.1, проблема низкого качества электрической энергии в конкретной точке электрической системы может быть следствием действия ряда причин и в каждом конкретном случае проявляться по-разному.

Касательно железнодорожной отрасли потребителями ЭЭ являются тяговая нагрузка в лице электроподвижного состава железных дорог и потребители систем, обеспечивающих ее бесперебойную и надежную работу - нетяговые железнодорожные потребители, потребители прилегающих районов электроснабжения.

В системе тягового электроснабжения переменного тока железнодорожного транспорта основной причиной ухудшения качества электрической энергии является работа выпрямительно-инверторного преобразователя (ВИП) электроподвижного состава (ЭПС). Процесс преобразования переменного тока в постоянный вызывает образование высших гармонических составляющих (ВГ) тока и напряжения в цепи токоприемника электровоза. Основное негативное влияние электроподвижного состава на работу смежных устройств электроснабжения, аппаратуры сигнализации, централизации и автоблокировки (СЦБ), нетяговых потребителей выражается в ухудшении симметрии и синусоидальности напряжения[6].

Многие важные показатели работы железной дороги, такие как безопасность движения, пропускная способность, бесперебойное электроснабжение тяговых и нетяговых потребителей, обеспечение транзита энергии питающих внешних систем и т.д., зависят от исправного состояния и правильной работы электрооборудования. Поэтому проблемы низкого КЭ отрицательно сказываются на эффективности работы обозначенных систем [5].

Вместе с тем, существующий принцип сопряжения систем внешнего и тягового электроснабжения обусловлен тем, что в период начала электрификации железных дорог в СССР,

было принято основополагающее решение об обеспечении электроэнергией прилегающих к железной дороге промышленных предприятий, населенных пунктов и сельскохозяйственных территорий за счет питания их от тяговых подстанций [1].

Однако в современных реалиях рынка и работы железных дорог такое «соседство» приводит к увеличению технологических потерь электроэнергии, снижению качества электрической энергии и ухудшению электромагнитной совместимости вышеназванных систем [6]. При подключении большого количества районных нагрузок к тяговым подстанциям увеличиваются перетоки мощности, а снижение качества электроэнергии влечет за собой снижение ресурса электрооборудования (выход его из строя), сбои в работе релейной защиты и автоматики (РЗА) и связи [5].

На железных дорогах важную роль в регулировании и обеспечении безопасного движения поездов играет система автоблокировки – система сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ). Самой важной функцией устройств СЦБ является разграничение поездов при их движении таким образом, чтобы на каждом перегоне (блок-участке) находился только один поезд. На электрифицированных железных дорогах нашей страны в настоящее время применяется путевая автоматическая блокировка (АБ) с автоматической локомотивной сигнализацией. Устройства СЦБ относятся к электроприемникам первой категории по надежности электроснабжения и получают основное питание от высоковольтных трехфазных трехпроводных линий автоблокировки (ВЛ АБ). Проблема низкого КЭ на питающих линий АБ заключается в передаче искажений КЭ от тяговой нагрузки - электровозов, имеющих выпрямительно-инверторный преобразователь в линии ВЛ АБ вследствие наличия общих центров питания (тяговых подстанций). Это вызывает искажения КЭ различного характера. Например, электровозы представляют собой нагрузку резко-переменного, нелинейного характера, и это искажает синусоидальность кривой напряжения [6].

Искажение синусоидальности кривой напряжения проявляется как паразитное действие высших гармонических составляющих напряжения, что вызывает дополнительный нагрев изоляции, повышенные потери энергии и сокращение срока службы электрооборудования. Также тяговая нагрузка является причиной сильной асимметрии трехфазного линейного напряжения и появлению большого тока обратной последовательности [3].

При эксплуатации существующих систем электрификации и электроснабжения железных дорог и прилегающих к железной дороге линий электропередач необходимо решать вопросы, связанные с минимизацией потерь в системах тягового электроснабжения (СТЭ) при несимметричных и несинусоидальных режимах их работы. По этой причине в последние годы на железной дороге и сетевых организациях в эксплуатацию активно вводятся устройства продольной емкостной компенсации (УПК), которые положительно влияют на улучшение симметрии напряжения в питающей трехфазной сети, к которой подключаются тяговые подстанции [6]. УПК предназначено для «подавления» индуктивной составляющей мощности сети и за счет этого для повышения уровня питающего напряжения. Это приводит к стабилизации напряжения на токоприемнике электровоза, что в свою очередь способствует увеличению пропускной способности железной дороги. Несмотря на все положительное, что несет в себе применения УПК, важно помнить об одном его довольно значительном недостатке. Этим отрицательным аспектом в применении данного устройства является снижение сопротивления тяговой сети, приводящее к росту токов короткого замыкания, что является достаточно опасным явлением.

Также существует ещё несколько способов снижения негативного влияния тяговых нагрузок: питание ВЛ СЦБ может осуществляться от районной обмотки силового трансформатора или обеспечиваться отдельным трансформатором (от которого так же можно питать все нетяговые нагрузки, что является более выгодным решением, вследствие более полной его загрузки).

Таким образом, можно заключить, что повышение КЭ – это важная и неотъемлемая часть работы над совершенствованием системы электроснабжения в целом и показателей электрифицированной железной дороги в частности. Пропускная способность железной дороги, безопасность движения поездов, работа РЗА, систем связи и т.д. вплоть до хорошо освещенного рабочего места отдельного сотрудника железной дороги - всё это может быть улучшено путем повышения качества электрической энергии в системе электроснабжения, что, как следствие, вызовет положительный рост целевых показателей работы железнодорожной отрасли.

Библиографический список:

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://minenergo.gov.ru/node/1026

2. ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения»

3. Ким А.В., Красновская О.П., Макашёва С.И. Непрерывный мониторинг и прогноз показателей качества электрической энергии как составляющая часть энергосберегающих технологий / Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2017. Т. 1. С. 65-68.

4. Рябцева В.Е., Контроль за качеством электрической энергии / Сборник материалов международных научно-практических конференций. Под редакцией А.А. Коротких. – 2018 - С. 199-203

5. Серповской Д.Н., Пинчуков П.С. Влияние продольной компенсации на уровень напряжения и его качество тяговой сети переменного тока / Мир Науки. Сборник материалов международных научно-практических конференций под общей редакцией А.И. Вострецова. Новые подходы в науке и образовании – 2018 – С. 16-22.

6. Макашёва С.И., Автоматизированная система мониторинга как инструмент бережливого производства системы тягового электроснабжения /Электротехника. - 2016 - № 2 - С. 52-55.

Сарсембин Адиль Ойсынович
Sarsembin Adil Oysynovich
Магистрант Сибирского государственного индустриального университета

Скиба Кирилл Олегович
Skiba Kirill Olegovich
Магистрант Сибирского государственного индустриального университета

УДК 681.518.5

К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ ЦИФРОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

TO THE QUESTION ABOUT THE DEVELOPMENT OF DIGITAL CONTROLLERS FOR CONTROL SYSTEMS

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы построения системы сбора данных для электроприводов горно-металлургического комплекса на основе промышленного компьютера.

Annotation: The article is devoted to the issues of building a data collection system for electric drives of the mining and smelting complex based on an industrial computer.

Ключевые слова: промышленный компьютер, система сбора данных, электропривод.

Keywords: industrial computer, data collection system, electric drives.

Развитие электропривода в настоящее время состоит в применении управляемых тиристорных преобразователей в электроприводах как постоянного тока, так и частотно-регулируемых, каскадных переменного тока. Различные исполнения тиристорных преобразователей с полупроводниковыми системами фазоимпульсного управления имеют практически одинаковое быстродействие. Для разных систем электроприводов используются аналогичные структуры систем подчиненного управления с одинаковым числом контуров управления, одни и те же унифицированные средства управления. В результате фактически исчезает разница в качестве управления между тиристорными электроприводами постоянного и переменного тока. Развитие тиристорных электроприводов переменного тока несколько отстает от тиристорных электроприводов постоянного тока в виду большей сложности силовых схем с систем управления, а также вследствие большой стоимости. Тиристорные приводы создают конкуренцию электроприводам с электромашинным преобразователем.

Применение тиристорных электроприводов - одно из главных направлений энергетического перевооружения промышленных предприятий, в том числе шахт и рудников [1]. Считается, что их внедрение на горнодобывающих предприятиях позволяет оптимизировать режимы работы горных машин и протекание технологических процессов, поднимать их производительность.

Создаются структуры ТП с раздельного управления, обладающие качеством универсальности применения и обеспечивающие минимально возможные паузы между работой двух выпрямительных групп.

Однако для раздельного управления характерен режим прерывистых токов и потеря линейности и однозначности статических характеристик.

Формирование тенденций применения различных систем тиристорных электроприводов по различным силовым схемам, с отличающимися системами управления для рудничных подъемных установок определяется технологическими особенностями клетьевых и скиповых подъемных установок, предельными мощностями, характерными для этих типов установок и др. Это определяет также направление разработкой оборудования таких электроприводов.

В электроприводах рудничного подъема применяют серийные тиристорные преобразователи, используемые в приводах других машин и механизмов с общими требованиями, по которым выполнены унифицированные тиристорные преобразовательные агрегаты и другое оборудование комплектных преобразователей. Однако в тиристорном электроприводе рудничного подъема неточно повторяются технические решения, используемые в тиристорных электроприводах других машин и механизмов, и реализуются другие, дополнительные технические решения, обусловленные особенностями технологических операций, выполняемых рудничными подъемными установками.

Перспективным направлением в отношении уменьшения стоимости и удобства эксплуатации

являются унификация и стандартизация основных элементов силовой цепи привода, средств управления, реализация блочного построения системы из отдельных модулей. А также разработка цифровых систем управления.

Рассмотрим методику перехода от аналоговых передаточных функций к эквивалентным им цифровым. Переход от аналоговой формы регуляторов к цифровой имеет свои особенности. Главная заключается в следующем: если просто осуществить z-преобразование исходной передаточной функции регулятор $W_р(p)$, то реакция на одинаковое входное воздействие у регулятора с исходной передаточной функцией $W_р(p)$ и цифрового регулятора с передаточной функцией $W_{ир}(z)$ будет различна.

Данное различие объясняется тем, что на выходе регулятора с передаточной функцией $W_{ир}(z)$ будет отражен результат входного воздействия той информации, которая заключена в совокупности импульсов, а не в их огибающей [2]. В данном же случае требуется, чтобы регулятор отображал на выходе результат входного воздействия на него информации заключенной именно в огибающей входных импульсов.

Поскольку передаточную функцию непрерывного регулятора $W_р(p)$ требуется реализовать на ЭВМ, являющейся чисто импульсным устройством, а z-передаточная функция $W_{ир}(z)$ описывает работу именно такого устройства, (рис. 1) позволяя вычислить дискретный выходной сигнал

$$Y_р(z) = W_{ир}(z)\cdot X(z), \qquad (1)$$

представляющий, как может показаться на первый взгляд, дискретную информацию о сигнале y(t). Но поскольку в формуле (1) используется функция X(z), то это означает необходимость постановки квантователя и на входе исходного регулятора, т.е. использование $W_{ир}(z)$ дает дискретную информацию об y1(t) - выходном сигнале совсем другого в сравнении с исходным регулятором (рис. 2).

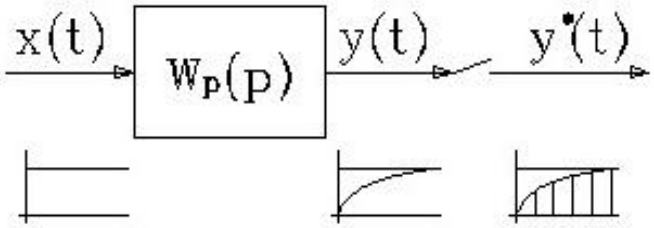

Рис. 1

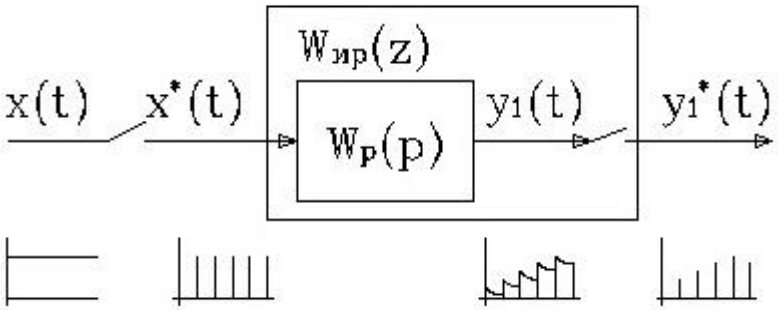

Рис. 2

Требуемую чисто импульсную передаточную функцию цифрового регулятора можно получить из структурной схемы с дискретно кодированным и сразу же декодированным (дКД) входом (рис. 3), которая по отношению к сигналам x(t) и y(t) приблизительно эквивалентна (она была бы эквивалентна в случае использования в ней идеального экстраполятора, тогда бы это была бы система с дискретно кодированным и сразу же идеально декодированным (дКиД) входом) схеме рис. 1 без пунктира; по отношению к сигналам x(t) и y*(t) - эквивалентна схеме рис. 1, с пунктиром.

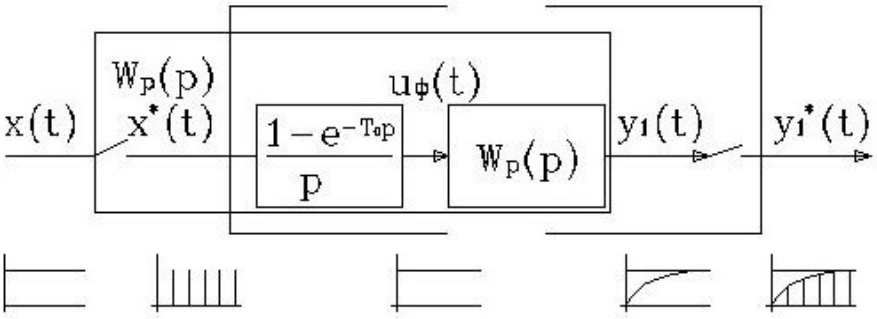

Рис. 3

В ее составе есть система, связывающая с сигналом x*(t) сигнал y*(t) (а не сигнал y*1(t)). Она и является искомой чисто импульсной системой (пунктирный прямоугольник на рис. 3). Ее работа описывается точно z-передаточной функцией

По своей сути WдКД(z) - приближенная (из-за использования экстраполятора нулевого порядка вместо идеального) z-передаточная функция регулятора Wp(p), приближающая $W_{д}$КиД(z) – точную z-передаточную функцию непрерывного регулятора Wp(p).

Таким образом, чтобы получить дискретную передаточную функцию регулятора необходимо на входе регулятора поставить ключ и экстраполятор и уже от полученной передаточной функции брать z-преобразование. Т.е. необходимо, чтобы входной сигнал пройдя через квантователь был преобразован из последовательности импульсов в непрерывный сигнал.

Поскольку большинство АЦП преобразовывая входной сигнал обрабатывают его аналогично экстраполятору нулевого порядка, то наиболее рационально будет находить передаточные функции регуляторов по следующему выражению:

$$W_p(z) = W_p(p)\frac{1-e^{-T_0 p}}{p}$$

Библиографический список:

1. Применение цифровой обработки сигналов: Пер. с англ. / Под ред. Э. Оппенгейма. – М.: Мир, 1980. – 544 с.

2. Крюков В.В. Информационно-измерительные системы (учебное пособие) Часть 1: abc.vvsu.ru, 2000. – 50с

Веселков Артем Дмитриевич
Veselkov Artem Dmitrievich
Студент ФГБОУ ВО «Псковский государственный университет», факультет вычислительной техники и электроэнергетики, направление «Электроэнергетика и электротехника»

УДК 658.51

ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМ PLM И ERP В УПРАВЛЕНИИ ПРЕДПРИЯТИЕМ

INTEGRATION OF PLM AND ERP SYSTEMS IN ENTERPRISE MANAGEMENT

Аннотация: Рассмотрены понятия систем PLM/PDM и ERP, трудности по их внедрению в процессы предприятий и возможные пути интеграции в управленческую деятельность.

Ключевые слова: жизненный цикл продукции, предприятие, данные о продукции, управление, планирование, ресурсы.

Abstract: The concepts of PLM / PDM and ERP systems, the difficulties of their implementation in the processes of enterprises and possible ways of integration into management activities are considered.

Keywords: product life cycle, enterprise, product data, management, planning, resources.

Если рассмотреть любое предприятие с точки зрения потребностей в программном обеспечении, то все, что ему необходимо, умещается в две емкие аббревиатуры - PLM и ERP.

Та компания, которая может предложить клиентам PLM+ERP, построит то самое вертикальное решение, которое закроет все конструкторско-технологические задачи современного промышленного предприятия.

На промышленных предприятиях, обычно, можно выделить два основных контура управления, непосредственно влияющих на стоимость, качество и сроки вывода продукции на рынок. Один из них – управление процессами технической подготовки производства (ТПП), куда входят и процессы конструкторско-технологической подготовки производства. Этот контур обычно управляется модулем PDM/PLM и использует широкий перечень прикладного программного обеспечения.

Второй контур – система управления бизнес-процессами предприятия, в числе которых управление производством, экономический блок (например, калькуляция нормативной себестоимости), управление логистикой и сбытом, за него отвечает ERP-система. По своей сути ERP-система – потребитель конструкторско-технологической информации и придирчивый потребитель.

Задачи, решаемые с помощью PLM

Концепция PLM возникла в отраслях, связанных с разработкой и производством сложных технических изделий (авиационно-космическая отрасль, оборонно-промышленный комплекс, точное машиностроение и др.). Поэтому довольно долго в нашей стране PLM-решения ассоциировались именно с предприятиями данного профиля, и предполагалось, что они оперируют в основном техническими (в первую очередь конструкторскими) данными. Но в последние годы ситуация качественно изменилась.

Теперь уже не имеет значения, что именно понимается под словом «продукция» — станок, корабль, самолет, нефтепровод или сложная информационная система.

Сегодня основные положения концепции PLM включают:

- полное детальное описание, защищенное хранение и управляемое использование всей информации о продукции на протяжении всего жизненного цикла продукции;
- поддержка целостности и непротиворечивости информации о продукции на протяжении всего ее жизненного цикла;
- поддержка и управление всеми бизнес-процессами и связанными с ними данными для распространения информации по всему расширенному (территориально распределенному) предприятию по заданным правилам.

PLM — Product Lifecycle Management — управление жизненным циклом продукции. Определяется PLM следующим образом — это стратегический подход к бизнесу, при котором применяется набор интеллектуальных инструментальных средств, поддерживающих совместное создание, управление, изменение и использование данных о продукции в рамках расширенной модели предприятия. Обмен данными осуществляется в рамках единого информационного

пространства (включая единые бизнес-процессы, бизнес-приложения и данные). При этом особо подчеркивается, что PLM не является какой-либо конкретной технологией или каким-либо отдельным программным продуктом.

PDM — Product Data Management — управление данными о продукции. На отечественном рынке представлены как системы зарубежных производителей, так и отечественные разработки.

ERP — Enterprise Resource Planning — планирование ресурсов предприятия. Системы класса ERP на отечественном рынке предлагают ряд компаний, в частности Microsoft, Oracle, SAP, «Лоция Софт».

Для промышленных предприятий комплексная автоматизация производственного процесса на базе ERP-систем если и возможна, то за счет значительной доработки существующих модулей под специфичные для уровня производственного менеджмента процессы. При этом ERP-системы воспринимают промышленное производство с точки зрения финансово-управленческого контура, т.е. в первую очередь — как объект контроля, а не как объект управления. Поэтому пригодность ERP-систем в качестве инструмента производственно-управленческого персонала, чья деятельность во многом находится в технологической сфере производства, серьезно ограничена. Это означает, что для решения задач производственно-управленческого контура необходимы специализированные инструменты, которые освободят производственно-управленческий персонал (начальник цеха, главный инженер, главный технолог, главный механик и т.д.) от рутинной работы по расчету и составлению отчетов о показателях эффективности производства, сбору статистики для выявления узких мест в производственном процессе, детальному планированию и перепланированию производства, позволят добиться прозрачности и упростят контроль над ходом производства, облегчат анализ качества продукции и выявления причин появления брака.

PM — Project Management — управление проектами, чаще всего входящими в качестве одного из модулей в ERP- или PDM-решения.

Workflow — управление документооборотом и бизнес-процессами предприятия, как правило, являющиеся подсистемами систем PDM или ERP.

Какие же проблемы наиболее часто встают перед организациями, решающими внедрить и/или интегрировать между собой решения PLM/ PDM и ERP?

Создание единых справочников предприятия

Как показывает практика, самой сложной проблемой для предприятий, внедряющих интегрированное решение PLM/ PDM + ERP, является создание и поддержка единых справочников. При этом справочники для разных служб не только должны быть различными по составу (например, справочник контрагентов и справочник номенклатуры), но и одна и та же информация должна быть представлена по-разному. Наглядным примером здесь является справочник покупных изделий и комплектующих. Конструкторские подразделения в нем интересуют в первую очередь технические характеристики, в то время как финансовые службы — условия поставки (минимальная партия заказа, срок поставки и т.п.) и цены поставщиков.

При этом (что вполне логично) отдельные подразделения (в первую очередь финансовые) не хотят, чтобы другие подразделения имели доступ к их данным. Всё это в крупных компаниях усугубляется еще и проблемами территориальной распределенности.

В таких случаях, казалось бы, очевидное решение использования единой базы данных не всегда предпочтительно. И довольно часто оптимальным выходом оказывается работа с несколькими базами данных, обменивающимися информацией. При этом справочники должны оставаться едиными. Тогда на первый план выходит проблема обеспечения целостности и непротиворечивости данных при организации репликации.

Кроме того, необходимо регулярно обеспечивать импорт данных из каталогов и прайс-листов смежников (зачастую представленных в самой разной форме) и выгружать свои собственные справочники (например, каталог продукции) в виде, приемлемом для заказчиков.

Таким образом, решение, которое обеспечивает хранение единых справочников как в одной базе данных, так и в нескольких, является предпочтительным.

Помимо этого необходима синхронизация по организационной структуре предприятия и правам пользователей по доступу к информации.

В связи с вышесказанным, следует правильно и грамотно подбирать для своего предприятия программное обеспечение данного направления, которое обладает всеми этими возможностями.

Вопросы обмена данными

Ранее мы уже коснулись частного случая обмена данными: импорт и экспорт справочной информации (каталогов, прайс-листов и т.п.). Но часто по условиям контракта необходимо передавать партнерам и полный комплект документации на продукцию (проект). Задача может усложниться, когда требуется многоитерационный обмен данными (например, при передаче документации на изделие между КБ и серийным заводом или при согласовании комплекта проектной документации с заказчиком).

В настоящее время практически все ведущие фирмы — разработчики PLM -решений, представленные на российском рынке, в той или иной степени поддерживают в своем программном обеспечении стандарт ISO 10303 (STEP). Правда, в ряде случаев он используется исключительно для передачи геометрической информации. Поэтому в последние несколько лет для обмена информацией между приложениями, входящими в PLM -решение (особенно при обмене данными между системами PDM , ERP и автоматизации технологической подготовки производства), все чаще применяется XML .

Более того, ведущие зарубежные разработчики PLM-решений — Siemens UGS PLM Solutions и Dassault Systemes — предложили свои варианты реализации XML — PLM XML и 3 D XML соответственно. Какая из технологий окажется наиболее востребованной, покажет время.

Тем не менее в ряде отраслей также ведутся работы по созданию универсальных трансляторов, позволяющих с минимальными искажениями обмениваться данными между различными системами PDM.

Но уже сейчас очевидно, что XML в этом десятилетии будет одним из наиболее востребованных форматов обмена данными.

Необходимо также отметить, что в настоящее время введены в действие изменения стандартов ЕСКД, устанавливающие две равноправные формы представления конструкторской документации (КД) — бумажную и электронную. Также теперь допускается включать в комплект документов всех стадий разработки документы в разных формах выполнения.

Таким образом, теперь уже почти ничто не мешает предприятию опираться при работе на документы, представленные с внедрением систем ЭЦП и шифрованием данных, что позволит организовать юридически значимый электронный документооборот в рамках крупной компании.

К отечественной специфике также можно отнести выдвигаемые на ряде предприятий военно-промышленного комплекса требования по сертификации программных средств, которые могут привести к невозможности использования даже самых лучших зарубежных систем. Причем требования эти могут касаться не только собственно прикладного программного обеспечения, входящего в комплекс PLM/ PDM/ ERP/ Workflow, но и используемых СУБД и ОС. В таком случае преимущества получают системы, позволяющие работать с отечественными разработками в данной области.

Также немаловажным аспектом, который может тормозить внедрение PLM на отечественных предприятиях, является их относительно низкая платежеспособность (по сравнению с зарубежными компаниями). Ведь применение PLM эффективно в первую очередь именно тогда, когда в работе задействованы все сотрудники предприятия, принимающие участие в производственном процессе. Так что и в данном случае преимуществом обладают отечественные PLM-решения, имеющие существенно более низкую стоимость приобретения, внедрения и владения.

Перспективы развития PLM-решений в нашей стране

Каковы же перспективы развития PLM- и ERP-решений?

По оценкам независимых экспертов, рынок PLM и ERP — один из наиболее быстрорастущих рынков бизнес-приложений. Данная тенденция получает подтверждение и в нашей стране. Причем рост объема услуг по внедрению PLM- и ERP-решений и консалтингу опережает рост объема продаж компонентов программного обеспечения в первую очередь именно за счет PLM/ PDM.

При этом будет сохраняться тенденция по развитию стандартизации решений, ориентации на использование (пусть даже в перспективе) открытого ПО. Также ожидаемо и дальнейшее усиление роли XML в качестве стандартного формата обмена данными.

Разумеется, дальнейшее развитие получит и использование работы через web в решениях (в основном с применением VPN), а также встраивание компонентов PLM в порталы.

Решения от поставщиков САПР не только будут развиваться дальше, но и сосуществовать параллельно с решениями от независимых разработчиков PLM.

Несомненно, будут происходить дальнейшее активное взаимное функциональное проникновение и более тесная интеграция ERP - и PLM -решений, особенно в рамках крупных проектов. Поэтому заказчикам, выбирающим PLM -решение, следует в первую очередь обратить внимание на разработчиков, предлагающих интегрированные PLM / PDM - и ERP -системы, по функциональности удовлетворяющие требованиям технического задания и имеющие разумную совокупную стоимость владения (TCO).

Библиографический список:

1. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Автоматизированные системы. Термины и определения // Информационная технология. Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы. - М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. - 144с.

2. Куцевич И. В. Инструментарий для интеграции разнородных подсистем. - Мир компьютерной автоматизации, 2000, No1, с. 33-37.

3. Леньшин В., Синенко О. Интеграция на пути повышения эффективности предприятия. - Мир компьютерной автоматизации, 2000, No1, с. 12-16.

4. Любашин А. Н. Системная интеграция и системный консалтинг. - Мир компьютерной автоматизации, 2000, No1, с. 55-59.

4. Методы разработки интегрированных АСУ промышленными предприятиями / Г. М. Уланов, Р. А. Алиев, В. П. Кривошеев. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 320 с.

5. Славин Р. Единственный путь повышения эффективности производства — интеграция «снизу вверх». - Мир компьютерной автоматизации, 2000, No1, с. 17-22.

Мерзляков Александр Олегович
Merzlyakov Alexander Olegovich
Студент Пермского национального исследовательского
политехнического университета» по направлению «Строительство»

УДК 691.327.332

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛЮМОСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК, УЧАСТВУЮЩИХ В ГАЗООБРАЗОВАНИИ В БЕТОННЫХ СМЕСЯХ, ПО КИНЕТИКЕ ВЫДЕЛЕНИЯ ГАЗА

COMPARATIVE ANALYSIS OF ALUMINUM-CONTAINING ADDITIVES INVOLVED IN THE FORMATION OF GAS IN CONCRETE MIXTURES, BY THE KINETICS OF GAS EVOLUTION

Аннотация. В данной статье проведено исследование кинетики выделения газа алюмосодержащих добавок разных производителей из разных стран. В лабораторных условиях было проведено сравнение добавок по интенсивности выделения газа, количеству и равномерности выделения выходящего газа при помощи установки - газоволюметр.

Abstract: In this article, a study was conducted of the kinetics of gas evolution of aluminum-containing additives from different manufacturers from different countries. Under laboratory conditions, a comparison was made of the additives in terms of the intensity of gas evolution, the amount and uniformity of the evolution of the outgoing gas using a gas meter.

Ключевые слова: алюмосодержащие добавки, газообразователь, газовыделение, газобетон.

Keywords: aluminum-containing additives, gasifier, gas evolution, aerated concrete.

Введение

Алюминиевый порошок часто применяется в различных отраслях народного хозяйства. Многообразие областей применения алюминиевых порошков объясняется их физико-химическими свойствами: высокой скоростью горения, коррозионной стойкостью в атмосфере, высокой реакционной способностью (активностью), большой энергией сгорания и др. Основные области применения алюминиевых порошков и пудр – пиротехника, химия, металлургия, нефтехимия, лакокрасочная промышленность, строительная промышленность и другие [1].

В области строительства алюмосодержащие порошки используются чаще всего в качестве пигментов, а так же газообразователей. Но с ужесточением требований по охране труда увеличивается тенденция перехода от алюмосодержащих порошков на пасты.

Алюминиевая паста представляет собой смесь измельченных частиц алюминия и специальных добавок, обеспечивающих связанность частиц. Благодаря связанным конгломератам она не пылит. Это позволяет снизить категорию пожаро- и взрывобезопасности, свести к минимуму воздействие на здоровье работников предприятий.

Широкое распространение алюминиевые пасты нашли в производстве газобетонов автоклавного и неавтоклавного твердения. Известно [4], что на характеристики газобетона оказывает влияние множество факторов, в том числе и характеристики алюминиевых паст. В зависимости от технологии производства срок хранения алюминиевых паст колеблетсяот 3 до 6 месяцев, после чего активность алюминия постепенно снижается за счет его окисления. Следует отметить, что в пастах содержится некоторое количество специальных добавок различного назначения. Их введение обеспечивает минимальное пыление, а также регулирование технических и реологических характеристик, что необходимо учитывать при производстве газобетона. Количество связующей добавки в пастах составляет от 15 до 30%, что уменьшает пыление до минимума. Другое отличие между пастами и пудрами заключается в различной кинетике газообразования.К примеру, кинетика газовыделения алюминиевой пудры типа ПАП-1 или ПАП-2 уже в начале реакции очень высока, что, зачастую, приводит к «закипанию» массива; в случае использования пасты время протекания реакции, как правило, составляет от 10 до 30 минут, что снижает риск деструкции первоначальной структуры газобетона и его «оседания».

Зачастую производители изделий из ячеистых бетонов не принимают во внимание отличительные особенности паст перед пудрами, что приводит к выпуску большого количества брака. Между тем, проблеме перехода от одного вида газообразователя к другому в литературных источниках не уделяется должного внимания. А линии по производству газобетона не оборудованы необходимыми приборами и материалами для изучения кинетики газообразования.

Таким образом становиться очевидным актуальность сравнения газообразователей различных производителей по кинетике выделения газа, что позволит снизить объемы брака при переходе от одного вида газообразователей к другому.

Основная часть

В данной работе исследованы 4 вида алюминиевых пудр и паст:

- Газобетон +500, производитель ООО «НСК-ТЕК», Россия;
- STAPAALUPORRO 500, производитель ECKART, Германия;
- RB 201, Беларусь
- ПАП-2, Россия

Основные характеристики Газобето +500 и ПАП-2 представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики Газобето +500 и ПАП-2

Характеристика	Газобето +500	ПАП-2
Алюминий, не менее %	91	-
Железо, не более %	0,30	0,5
Кремний, не более %	0,25	0,4
Медь, не более %	0,02	0,5
Марганец, не более %	0,05	0,01
Смачиваемость	Смачивается	Не смачивается
Степень пыления, %	1,6	5,9
Остаток на сите, %:		
008	1	-
0056	-	0,3
0045	8,0	0,5

Основные характеристики STAPAALUPORRO 500 представлены в таблице 2.

Таблица 2[4]. Характеристика STAPAALUPORRO 500

Характеристика	STAPAALUPORRO 500
Алюминий, не менее %	91
Остаток на сите <0045, %	96
Содержание летучих веществ, %	28-32
Содержание нелетучих веществ, %	68-72

Основные характеристики RB 201представлены в таблице 3.

Таблица 3. Характеристика RB 201

Характеристика	RB 201
Смачиваемость	Смачивается
Алюминий, не менее %	85-95
Гранулометрический состав 50, мкм	15-25

Реакция газообразования в ячеистых бетонах неавтоклавного твердения, как правило, протекает по следующей схеме[3]:

$$2Al + 6H_2O + 2NaOH = 2Na[Al(OH)_4] + 3H_2\uparrow \quad (1)$$

При проведении эксперимента объем выделившегося газа определяли газоволюметрическим методом, основанным на измерении количества водорода, выделяющегося при растворении навески порошка в растворе щелочи в соответствии с реакцией (1). В процессе активного перемешивания щелочь растворяет оксидную пленку на поверхности частиц алюминия, взаимодействие которого с водой приводит к выделению водорода.

Определение объема выделившегося газа проводили через каждые 15 минут.

Данные, полученные в ходе эксперимента, представлены в таблице 4.

Таблица 4 . Изменение абсолютного объема выделившегося газа во времени

Период, мин	ПАП-2	RO 500	RB 201	Газобето +500
0-15	0,9	0,9	1,7	2,4
15-30	2,4	1,7	2,6	3,6
30-45	3,4	2,7	3,0	4,0

Для наглядности по полученным данным был построен график кинетики выделения газа, представленный на Рис.1.

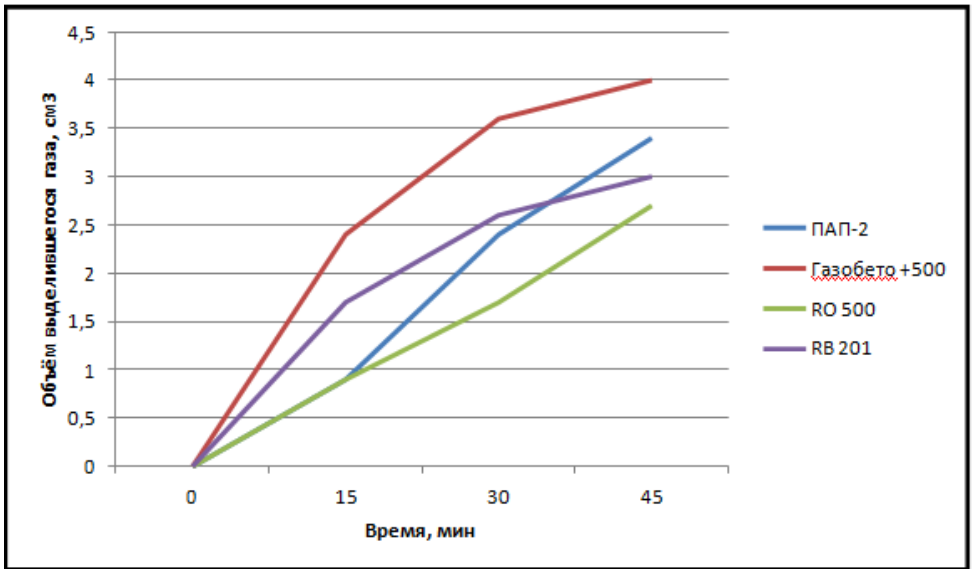

Рис. 1 Кинетика выделения газа

Анализируя полученные данные, можно отметить, что в первый период протекания реакции наиболее активное газовыделение наблюдалось у добавки Газобето +500, и составило 2,4 см^3. По результатам испытания добавки RB201 установлено, что объем выделившегося газа составил 1,7 см^3, наихудшие результаты показали добавки RO 500 и ПАП-2: объем выделившегося газа при их испытании не превышал 0,9 см^3. Однако, в последующем периоде алюминиевая пудра ПАП-2 показала значительный прирост суммарного объема (до 3,4 см^3). Таким образом, к 45- ой минуте протекание реакции по суммарному объему выделившегося водорода газообразователи можно проранжировать следующим образом: Газобето +500(4,0 см^3), ПАП-2 (3,4 см^3), RB 201 (3,0 см^3), RO 500 (2,7 см^3). Примечательно, что добавка RO 500 в течении всего времени протекания реакции показывала постоянное изменение объема.

Заключение

По результатам можно сделать вывод, что для производства ячеистых бетонов пониженной плотности (D500 и менее) больше всего подходит Газобето+500. При этом необходимо принять во внимание, что при переходе с пудры ПАП-2 на пасту Газобето+500 расход пасты нужно уменьшить примерно на 15- 20%. Для производства конструкционно-теплоизоляционных материалов с плотностью D500 и более оптимально применение пасты RB 201, которая имеет схожую с пастой Газобето+500 кривую газовыделения. Наиболее равномерно реакция газовыделения проходит у пасты RO 500. Малое значение объема выделенного водорода при ее испытании можно объяснить потерей активности (срок хранения превышает 12 месяцев). Данное исследование показало отличия между пудрой и пастами разных производителей по кинетике выделения газа.

Библиографический список

1. Кипарисов С.С., Либенсон Г.А. Порошковая металлургия – М.: Металлургия, 1972. – 528 с.
2. Прохоров С.Б Автоматизированный комплекс для определения основных характеристик алюминиевых газообразователей// Материалы 8-ой научно- практической конференции «Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения» - Республика Беларусь, г. Минск.
3. Gireesh Mailar, Sujay Raghavendra N, Sreedhara B.M, Manu D.S, Parameshwar Hiremath, Jayakesh K. Investigation of concrete produced using recycled aluminium dross for hot weather concreting conditions // pp. 68-80. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405653716300306
4. Семериков И.С., Вишневский А.А., Запольская А.А. Сравнительная оценка новых газообразователей для производства автоклавного газобетона // Журнал Строительные материалы, М, 2010. №1. С 47-49.
5. ECKARTEffectPigments [Электронный ресурс] // Сайт производителя. URL: http://www.eckart.net/ (дата обращения 11.03.2017).

Романовский Николай Сергеевич
Romanovskiy Nikolay Sergeevich
Студент Института сферы обслуживания и предпринимательства филиала Донского Государственного Технического Университета, факультет «Техника и технологии», направление «Информационные системы и технологии»
E-mail: kilaselay01@gmail.com

Дмитриенко Надежда Алексеевна
Dmitrienko Nadezhda Alekseevna
Доцент, канд. пед. наук, Институт сферы обслуживания и предпринимательства филиала Донского Государственного Технического Университета, факультет «Юриспруденция, социальные технологии и психология», кафедра «Иностранные языки»

УДК 51

МЕТОДЫ РАСЧЁТА УРОВНЕЙ ТРУДНОСТИ ЗАДАНИЙ И УРОВНЕЙ ПОДГОТОВКИ ТЕСТИРУЕМЫХ

METHODS OF CALCULATING THE LEVELS OF DIFFICULTY OF TASKS AND ABILITY LEVELS TESTED

Аннотация: Существует несколько методов расчёта уровней сложности заданий и уровней подготовки тестируемых. В данной статье представлены метод из теории латентных переменных, базирующийся на дихотомической модели Раша и уточнённый метод расчёта.

Annotation: There are several methods for calculating the difficulty levels of tasks and training levels of test subjects. This paper presents a method from the theory of latent variables based on the Rush dichotomous model and a refined calculation method.

Ключевые слова: метод расчёта, уровень трудности, уровень подготовки, латентная переменная, дихотомическая модель, модель Раша.

Keywords: the method of calculation, level of difficulty, level of training, latent variable, the dichotomous model, Rasch model.

В условиях быстрого развития современных технологий, на предприятиях возрастает роль человеческого фактора и связанных с ним рисков, следовательно, возрастают и требования к методам проверки уровня профессиональной подготовки сотрудников. Уровень профессиональной подготовки специалистов можно оценить по результатам их обучения в вузе, на курсах повышения квалификации и т.д. Неверное оценивание результатов тестируемого в дальнейшем может привести к различным проблемам на производстве, таким как материальные убытки предприятия или даже к риску возникновения человеческих жертв.

Актуальность данной работы заключается в снижении погрешности систем оценивания результатов обучения, тем самым увеличивая уровень профессиональной подготовки тестируемого и уменьшая уровень рисков на предприятиях. Объектом и предметом исследования являются теория латентных переменных, базирующаяся на моделях Раша и теория уточнённого расчёта оценок трудности заданий диагностического средства и уровня подготовки тестируемых.

Использование теории латентных переменных, базирующейся на моделях Раша, позволяет производить независимые оценки вычисляемых значений латентного параметра «уровень подготовки тестируемых» (УП) от значений уровень «трудности заданий» (УТ). Это способствует получению более объективных оценок уровня подготовки обучаемых.

Под термином «Латентная переменная (параметр)» принято понимать теоритический конструкт, который характеризует некое скрытое свойство или качество (например, уровень подготовки обучаемого, трудность тестового задания), которые непосредственно измерены быть не могут [1, 7].

В теории латентных переменных каждому участнику тестирования ставится в соответствие одно значение латентного параметра, определяющего наблюдаемые результаты тестирования. Результатом выполнения каждого тестового задания зависит от разности значений латентных параметров тестируемого и задания. В отличие от классической теории тестов, где индивидуальный

балл тестируемого рассматривается как постоянное число, в теории латентных переменных данный параметр рассматривается в виде переменной, значение которой находится по эмпирическим данным и далее последовательно уточняется.

Так как уровень подготовки тестируемого является латентным параметром и не поддаётся непосредственному измерению, он может быть получен в результате проверки знаний с определённой вероятностью. Нельзя точно сказать, сможет ли тестируемый верно решить предлагаемое ему задание, но существует возможность просчитать вероятность данного исхода события.

Для расчёта латентных параметров УП тестируемых θ_i и УТ заданий (индикаторов) β_j может быть использована система рекуррентных соотношений:

$$\theta_i^{(t+1)} = \theta_i^{(t)} + \frac{X_i - \sum_{j=1}^{L} \frac{\exp\left(\theta_i^{(t)} - \beta_j^{(t)}\right)}{1+\exp\left(\theta_i^{(t)} - \beta_j^{(t)}\right)}}{\sum_{j=1}^{L}\left[P_{ij}^{(t)} \cdot \left(1 - P_{ij}^{(t)}\right)\right]}, \quad i = 1, N, \qquad (1)$$

$$\beta_j^{(t+1)} = \beta_j^{(t)} - \frac{Y_j - \sum_{i=1}^{N} \frac{\exp\left(\theta_i^{(t)} - \beta_j^{(t)}\right)}{1+\exp\left(\theta_i^{(t)} - \beta_j^{(t)}\right)}}{\sum_{v=1}^{N}\left[P_{ij}^{(t)} \cdot \left(1 - P_{ij}^{(t)}\right)\right]}, \quad j = 1, L, \qquad (2)$$

где θ_i – уровень подготовки тестируемого;

β_j – уровень трудности задания;

X_i и Y_j – индивидуальные баллы тестируемого;

i – номер тестируемого;

j – номер задания;

t – номер итерации;

N – число тестируемых;

L – число заданий (индикаторов);

P_{ij} – плотность вероятностного распределения латентной переменной.

Данная вероятностная модель, представленная формулами (1) и (2), является моделью, полученной датским математиком Г. Рашем для оценки уровня учебных достижений обучаемых, которая получила название дихотомической или основной модели Раша.

Так как теория латентных переменных имеет вероятностный характер, она предполагает, что существует одномерный континуум латентной переменной, на котором происходит вероятностное распределение латентной переменной с плотностью P_{ij} [3]. В дихотомической модели Раша это распределение описывается логистической функцией:

$$P_{ij} = \frac{\exp(\theta_i - \beta_j)}{1+\exp(\theta_i - \beta_j)}, \qquad (3)$$

С помощью трансформации исходных тестовых баллов в шкалу натуральных логарифмов, Г. Раш ввёл общую логарифмическую меру для параметров модели θ_i и β_j, названную им логитом.

Логит – это единица измерения уровней подготовленности участника тестирования и трудностей тестовых заданий в рамках логистических моделей тестирования [4].

На рисунке 1.1 изображена характеристическая кривая j-го задания теста, показывающая взаимосвязь между значениями независимой переменной θ и величиной, которая была рассчитана с помощью формулы (3).

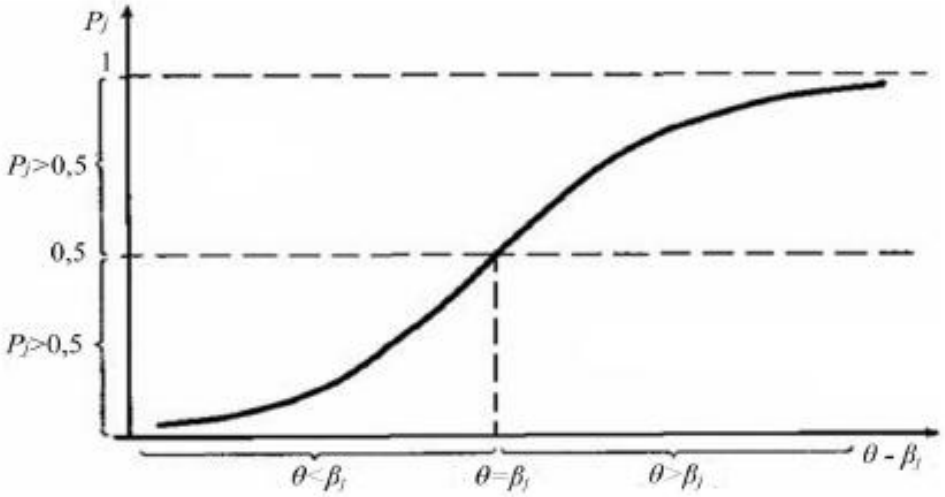

Рисунок 1 – Характеристическая кривая j-го задания

Из формулы (3) и рисунка 1 можно увидеть, что вероятность успешного выполнения задания тестируемым зависит от взаимодействия двух переменных: УП тестируемого θ_i и УТ задания β_j. Логично предположить, что если УП i-го тестируемого окажется выше УТ j-го задания, то испытуемый, вероятнее всего, правильно ответит на это задание. Верно и обратное – если способности i-го тестируемого будут ниже трудности j-го задания, то испытуемый не сможет верно выполнить это задание.

Формулы (1) и (2) были получены на основе использования метода максимального правдоподобия Р. Фишера и метода Ньютона решения нелинейных уравнений:

$$\varepsilon(\theta_i) = \left[\sum_{j=1}^{L} \left[P_{ij} \left(1 - P_{ij} \right) \right] \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$\varepsilon(\beta_j) = \left[\sum_{i=1}^{N} \left[P_{ij} \left(1 - P_{ij} \right) \right] \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (5)$$

где $\varepsilon(\theta_i)$ – погрешность вычисления УП тестируемого;

$\varepsilon(\beta_j)$ – погрешность вычисления УТ задания.

В новом подходе в качестве количественной меры УП тестируемых предложено использовать отношение суммы трудностей всех верно выполненных заданий к сумме трудностей всех заданий используемого диагностического средства – теста. А в качестве количественной меры УТ заданий – отношение суммы уровней подготовки студентов, неверно выполнивших задание, к сумме уровней подготовки всех студентов выборки.

Новый единый итерационный процесс вычисления оценок УП тестируемых и УТ заданий был экспериментально обоснован. В новом подходе учитывается вклад студентов разного уровня подготовки и заданий различной трудности в получаемые оценки. На примере обработки результатов централизованного тестирования школьников было показано, что оценки уровня трудности заданий, рассчитанные с помощью предложенного итерационного процесса, могут на 30 ÷ 66 процентов отличаться от УТ заданий, вычисляемого по индивидуальным баллам. В итоге были выведены новые рекуррентные соотношения [2, 105]:

$$g_i^{(k)} = \frac{\sum_{j=1}^{M} a_{ij} h_j^{(k)}}{\sum_{j=1}^{M} h_j^{(k)}}, i = 1, 2, ..., N, \quad (6)$$

$$h_j^{(k+1)} = \frac{\sum_{i=1}^{N} (1 - a_{ij}) g_i^{(k)}}{\sum_{i=1}^{N} g_i^{(k)}}, j = 1, 2, ..., M, \quad (7)$$

где g_i – вектор УП тестируемых;

h_j – вектор УТ заданий;

N – количество тестируемых;

M – количество заданий;

a_{ij} – результат выполнения j-го задания i-ым тестируемым;

k – номер итерации.

На основе соотношений (6) и (7) строится смешанная последовательность приближений к искомым векторам $\overline{h}^{(*)}$ и $\overline{g}^{(*)}$ [2, 105]:

$$(\overline{h}^{(0)}), \overline{g}^{(0)}, \overline{h}^{(1)}, \overline{g}^{(1)}, \overline{h}^{(2)}, \overline{g}^{(2)}, ... \quad (8)$$

В качестве начальных условий можно выбрать или вектор $\overline{h}^{(0)}$ или вектор $\overline{g}^{(0)}$, все значения которых равны единице. Процесс будет сходиться быстрее, если в качестве начальных векторов выбрать векторы (9) и (10):

$$\overline{h}^{(0)} = (p_{1,} p_{2,} p_{3,} ...., p_N) \quad (9)$$

$$\overline{g}^{(0)} = (q_1, q_2, ..., q_M) \quad (10)$$

$$p_i = \frac{X_i}{M}, i = \overline{1, N} \quad (11)$$

$$q_j = \frac{N - Y_j}{N}, j = \overline{1, M} \quad (12)$$

где p_i – доля верных ответов i-го студента;

q_j – доля неверных ответов студентов на j-ое задание;

X_i и Y_j – индивидуальные баллы тестируемых.

Латентные параметры θ_i^* и β_j^* в логитах вычисляются по формулам:

$$\theta_i^* = \ln \frac{g_i^*}{1 - g_i^*} \quad (13)$$

$$\beta_j^* = \ln \frac{h_j^*}{1 - h_j^*} \quad (14)$$

Погрешности вычислений считаются по формулам (4) и (5).

Стоит отметить, что данные методы применимы лишь для заданий, имеющих всего два исхода события: верный ответ и неверный ответ. Для заданий, имеющих больше вариантов исхода события (например: верно, частично верно, неверно) применяются иные методы, к примеру политомическая модель Раша. Но упомянутая модель использует другие формулы и большее число пременных. На данный момент представленные в статье методы являются самыми эффективными для оценки уровня трудности диагностического средства и оценки уровня подготовленности тестируемых.

Библиографический список:

1. Елисеев, И.Н. Математические модели и комплексы программ для автоматизированной оценки результатов обучения с использованием латентных переменных: диссертация / И.Н. Елисеев – Новочеркасск, 2013. – 371 с.

2. Шрайфель, И.С. Теоретическое обоснование единого итерационного процесса совместной количественной оценки трудностей заданий и уровней подготовки студентов / И.С. Шрайфель, И.Н. Елисеев // Сиб. журн. вычисл. математики / РАН. Сиб. отд-ние – Новосибирск, 2016. – Т. 19, № 1. – С. 103 – 119.

3. Точность моделирования латентных переменных с помощью модели Раша (Часть 1) [Электронный научно-практический журнал «Современные научные исследования и инновации»]//URL: http://web.snauka.ru/issues/2014/06/34399 (дата обращения 12.01.2019).

4. Инсай – вертикальное развитие: логит [Электронный ресурс]//URL: http://insai.ru/slovar/logit (дата обращения 14.01.2019).

Пересунько Павел Викторович
PavelViktorovichPeresunko
ассистент, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
E-mail: peres94@yandex.ru

Сорока Евгения Олеговна
EvgeniyaOlegovnaSoroka
студент, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
E-mail: jollot@yandex.ru

УДК 519.688

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА МЕТОДОМ СЛУЧАЙНОГО БАЛАНСА

THE DESIGN OF EXPERIMENTS BY RANDOM BALANCE METHOD

Аннотация: В статье рассмотрен метод случайного баланса для планирования эксперимента. В ходе исследования свойств метода была разработана программа на языке программирования R.

Abstract: the paper describes the random balance method for the design of experiments. The program for the study of the method's propertieswas developed with R language in the framework of the study.

Ключевые слова:планирование эксперимента, метод случайного баланса, оценка регрессии, регрессионный анализ, адекватность модели, фактор.

Keywords: the design of experiments, random balance method, regression estimation, regression analysis, model validation, factor.

Введение

Методика регрессионного анализа основана на предположении, что учтены все или, по крайней мере, все существенные факторы, иначе полученная математическая модель окажется неадекватной в изучаемом диапазоне изменения переменных. Привлечение всего множества переменных к составлению математического описания может потребовать непомерного объема экспериментальной и вычислительной работы, что зачастую невыполнимо в силу технологических, экономических и прочих ограничений [1]. Возникает необходимость предварительного отсеивания несущественных переменных и выделения тех входных воздействий x_i , которые оказывают наиболее заметное влияние на целевую функцию.

Описание метода случайного баланса

Метод базируется на постановке экспериментов по плану, содержащему координаты точек, выбранных случайным образом [2].

Построение матрицы планирования осуществляют следующим образом. Все факторы разбивают на группы. Затем для каждой группы строят матрицы планирования, беря за основу полный факторный эксперимент или дробные реплики. План проведения эксперимента образуется путем случайного смешивания строк соответствующих базовых планов (для групп факторов).

При использовании метода случайного баланса математическую модель сложного объекта расщепляют на части (1).

$$\hat{y} = \widehat{\alpha_0} + \sum_{i=1}^{h} \hat{a}_i x_i + \sum_{r=h+1}^{m+p} \hat{a}_r x_r + \varepsilon, \quad (1)$$

где h – число значимых переменных; $(m + p - h)$ – число незначимых переменных; ε – случайная составляющая, или помехи [3].

Программная реализация

Данная реализация метода случайного баланса предусматривает работу с различным количеством факторов и их взаимодействий, задаваемых непосредственно в коде. Исходный код программы приведен в приложении А.

Программа работает следующим образом.

Параметр begin определяет, с какого этапа начинать выполнение алгоритма, и принимает следующие значения:

1) $begin = 0$ – задано уравнение зависимости (для случая, если мы хотим проверить работу метода, зная истинное положение дел);

2) $begin = 1$ – задана матрица планирования, необходимо провести эксперимент по существующему уравнению;

3) $begin = 2$ – задана матрица планирования и результаты эксперимента.

На первом шаге задается истинная зависимость выхода объекта от входов $Y = f(X)$, число m линейно входящих факторов, а также сами взаимодействия. Число p взаимодействий определяется исходя из длины списка.

Матрица планирования, если она не задана изначально, создается следующим образом. Число строк N определяется таким, чтобы оно удовлетворяло условиям: создаваемый план относится к перенасыщенным [4], а также $N = 2^q$, где q – натуральное число. После этого факторы разбиваются на группы. Для каждой группы факторов строится полный или дробный факторный эксперимент [5], после чего строки смешиваются случайным образом и объединяются в общую матрицу планирования.

Следующим этапом является получение результатов эксперимента, если они не заданы. Количество проводимых опытов задается переменной y_count. Результаты экспериментов вычисляются по формуле (2).

$$y_i = Y(\bar{X}) + h, \tag{2}$$

где $i = \overline{1, y_count}$, h – нормально распределенная помеха с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1.

После этого вычисляется среднее значение выхода модели (3) и дисперсия шума (4).

$$\bar{y} = \frac{1}{y_count}\sum_{i=1}^{y_count} y_i, \tag{3}$$

где y_count – число экспериментов.

$$\hat{\sigma}_y^2 = \frac{1}{N(k-1)}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{k}\left(y_i^j - \bar{y}_i\right)^2, \tag{4}$$

где $k = y_count$ – число экспериментов, проводимых с одним набором факторов из матрицы планирования, N– число строк матрицы планирования.

Далее необходимо построить матрицы рассеяния для каждого фактора на каждом уровне и найти вклад каждого фактора (5).

$$\Delta_i = \widehat{Me}\{y|x = 1\} - \widehat{Me}\{y|x = -1\}, \tag{5}$$

где $\widehat{Me}$ – оценка медианы или среднее по значению в упорядоченной выборке.

Существенным считается фактор, вклад которого по модулю максимален. В случае если два фактора имеют близкие по значению вклады, выбирается тот, у которого больше выделяющихся точек. После этого существенный фактор убирается из списка анализируемых факторов и значения yуменьшаются на величину Δ_i в тех строках, где фактор X_iнаходится в верхнем положении.

Критериями останова в данном случае являются четыре возможных ситуации.

1) Исследованы все факторы либо количество существенных факторов h равно N-2.

2) Построена адекватная модель, согласно критерию Фишера.

3) Все вклады меньше заданной малой величины.

Результаты

В ходе исследования работы метода случайного баланса был проведен эксперимент на имитированном объекте, описываемом следующим уравнением.

$$y = 35 - 9.95 \cdot x1 + 2.875 \cdot x2 + 15 \cdot x3 - 2.675 \cdot x4 - x5 + 0.8 \cdot x6 - 2.4 \cdot x7 + x1 \cdot x2 + 5 \cdot x3 \cdot x5 + 2 \cdot x4 \cdot x6 \cdot x7 + \xi,$$

где $\bar{x} = (x_1, \dots, x_7)^T$ – факторы, ξ – нормально распределенная помеха с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1.

В таблице ниже приведены истинные значения коэффициентов уравнения объекта. Здесь $\alpha_8 = \alpha_{12}, \alpha_9 = \alpha_{35}, \alpha_{10} = \alpha_{467}$.

Таблица 1 – Значения коэффициентов уравнения

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
α_i	35	-9,95	2,875	15	-2,675	-1	0,8	2,4	1	5	0,2

Таким образом, имеется $m = 7$ линейных факторов и $p = 3$ их взаимодействий. Число строк в

матрице планирования $N = 8$. Табличное значение критерия Кохрена$G_{\text{табл.}} = 0{,}5157$, Фишера – $F_{\text{табл.}} = 3{,}02$.

Поскольку метод случайно смешивает строки вспомогательных таблиц, чтобы получить адекватную модель, необходимо запустить метод несколько раз. Ограничение на количество итераций K = 200 для предотвращения выполнения бесконечного цикла. На 5 итерации была получена модель, адекватно описывающая объект. На рисунке 1 приведен вывод программы – матрица планирования и существенные факторы с коэффициентами в уравнении регрессии.

```
## [1] "Итерация: 5"
## [1] "Гипотеза об однородности дисперсий принимается"
## [1] "i 1 F 202.113719196729 = 237.353802348787 / 1.17435769967578"
## [1] "i 2 F 51.5091547890515 = 60.4901725303141 / 1.17435769967578"
## [1] "i 3 F 9.42695909920814 = 11.0706220026837 / 1.17435769967578"
## [1] "i 4 F 5.93409365131005 = 6.96874857001311 / 1.17435769967578"
## [1] "i 5 F 3.00869631642819 = 3.5332856851836 / 1.17435769967578"
##   x1 x2 x3 x4 x5 x6 x7 x8 x9 x10
## 1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1  1  1  -1
## 2  1 -1  1 -1  1  1  1 -1 -1  -1
## 3 -1  1 -1  1 -1 -1 -1 -1 -1   1
## 4 -1 -1  1  1 -1  1 -1  1 -1  -1
## 5  1 -1 -1 -1 -1  1  1 -1  1  -1
## 6  1  1  1  1  1  1  1  1  1   1
## 7  1  1 -1 -1  1 -1  1  1 -1   1
## 8 -1  1  1  1  1 -1 -1 -1  1   1
## [1] "Факторы"
## [1] "x0 34.6552248576313"  "x3 14.5023256729209"  "x1 -10.1464800153791"
## [4] "x9 4.78961461644589"  "x6 -1.41571420905379" "x8 1.09434834097483"
```

Рисунок 1 – Матрица планирования и существенные факторы

На рисунках 2-3 показаны диаграммы размахов на первом и последнем шаге, построенные в ходе выполнения метода случайного баланса. По оси X отмечены факторы (сначала на нижнем, затем на верхнем уровне), отсортированные как строки, по оси Y – выход объекта в каждой точке плана. Медианы обозначены символом «-» (дефис).

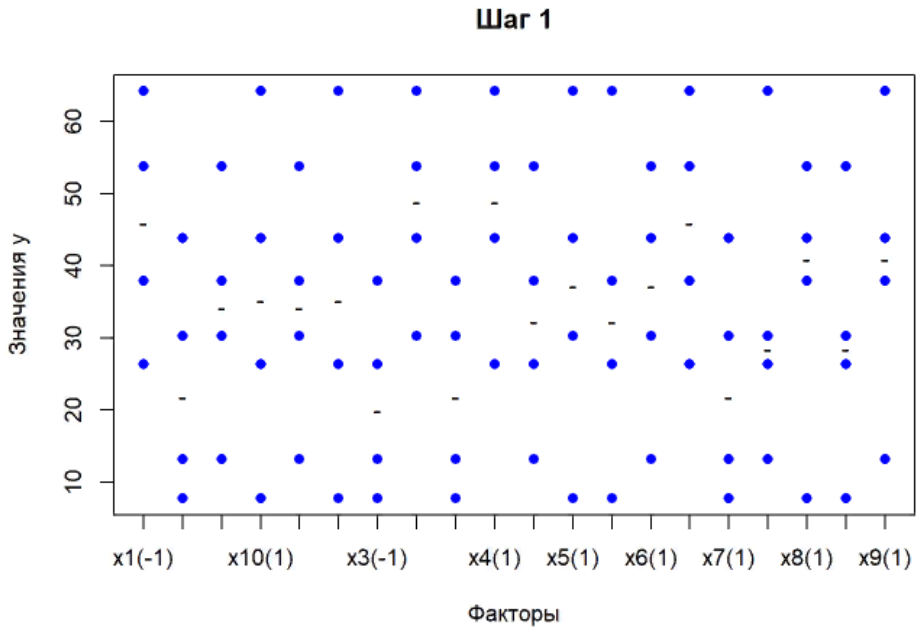

Рисунок 2 – Шаг 1

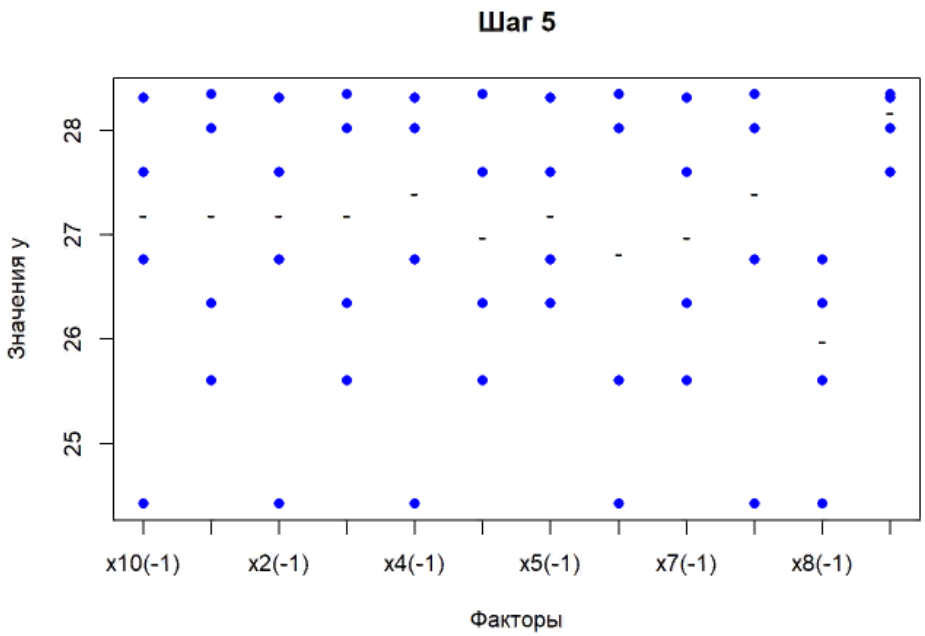

Рисунок 3 – Шаг 5

На рисунке 4 точками обозначены усредненные значения y в ходе эксперимента, крестиком – значения, полученные на основе модели. Дисперсия адекватности $\hat{\sigma}^2_{\text{ад}} = 3{,}53$, дисперсия шума $\hat{\sigma}^2_y = 1{,}17$.

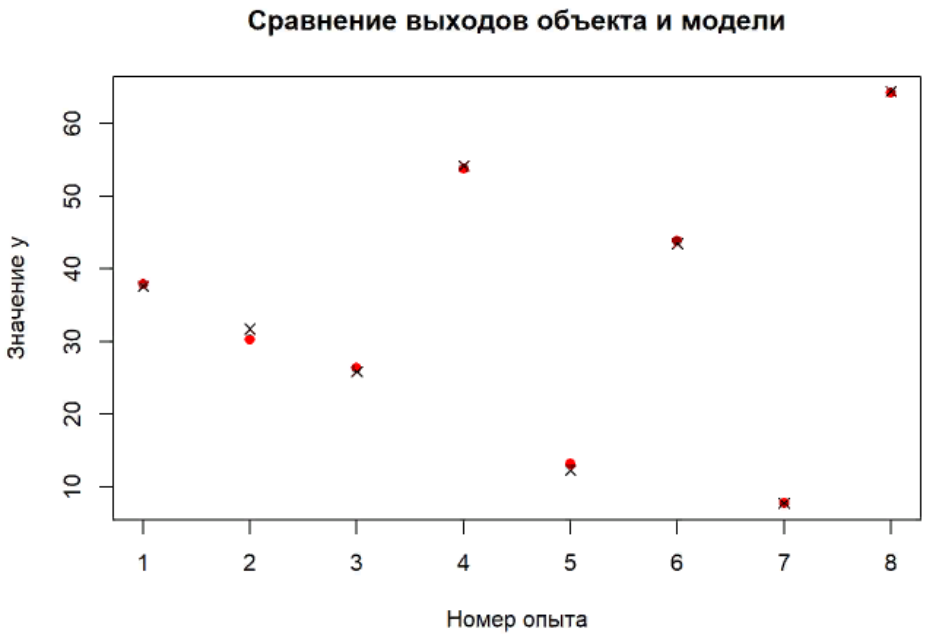

Рисунок 7 – Результат работы программы

Таким образом, модель заданного объекта описывается следующим уравнением.

$$\hat{y} = 34{,}66 - 10{,}15 \cdot x_1 + 14{,}5 \cdot x_3 - 1{,}4 \cdot x_6 + 1{,}1 \cdot x_8 + 4{,}8 \cdot x_9 + h,$$

где x_i– существенные факторы, h – шумовое поле.

Заключение

В ходе исследования была разработана программа на R, демонстрирующая работу метода случайного баланса. Ниже приведена сравнительная таблица результатов работы метода для имитированного объекта.

Таблица 2 – Сравнение оценок параметров с истинными значениями

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
α_i	35	-9,95	2,875	15	-2,675	-1	0,8	2,4	1	5	0,2
$\hat{\alpha}_i$	34,66	-10,15	0	14,5	0	0	-1,4	0	1,1	4,8	0

Различия в оценках параметров можно объяснить тем, что алгоритм относит факторы со слабым влиянием к шумовому полю. Сравнение выходов модели и объекта, а также нахождение дисперсии адекватности модели показывает, что была построена точная модель.

Библиографический список:

1. Статистические методы в инженерных исследованиях (лабораторный практикум): Учеб.пособие // Под. ред. Г.К. Круга. М.: Высш. школа, 1983.

2. Рубан, А. И. Методы анализа данных. Учебное пособие / А. И. Рубан // уч. пособие. 2-е изд., исправл. и доп. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004.

3. Сенкевич А. Ю. Математическое моделирование автоматизированных систем контроля и управления: Метод.указания // Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004.

4. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий // М.: Наука, 1976.

5. Адлер Ю. П. Введение в планирование эксперимента // Москва: Металлургия, 1968.

Научное издание

Коллектив авторов

Сборник материалов XXXVI Международной научной конференции «Техноконгресс»

ISBN 978-5-9907988-3-8

Техниконаучный журнал «Техноконгресс»

Кемерово 2018