

УДК [377.354.016:621.74]:[377.169.34:004]

Курзаев О. Н., Спиридонов А. К., Замиралов В. А., Егоров М. И.

**К ВОПРОСУ О ПРОЕКТИРОВАНИИ VR-ТРЕНАЖЕРА «ПРОРЫВ
КОРОЧКИ СЛИТКА ПОД КРИСТАЛЛИЗАТОРОМ МНЛЗ»**

Олег Николаевич Курзаев

kurzaev.on@mtk.ru

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Магнитогорский государственный технический
университет имени Г.И. Носова» (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»)*

Андрей Константинович Спиридонов

greenlaptop@mail.ru,

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Магнитогорский государственный технический
университет имени Г.И. Носова» (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»)*

Владислав Александрович Замиралов

Vlados2345u@gmail.com

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Магнитогорский государственный технический
университет имени Г.И. Носова» (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»)*

Михаил Игоревич Егоров

mishail6667@gmail.com

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Магнитогорский государственный технический
университет имени Г.И. Носова» (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»)*

**ON THE QUESTION OF DESIGNING THE VR SIMULATOR
"BREAKTHROUGH OF THE INGOT CRUST UNDER THE MOLD OF
THE CML"**

Oleg Nikolaevich Kurzaev

Nosov Magnitogorsk State Technical University(NMSTU)

Andrey Konstantinovich Spiridonov

Nosov Magnitogorsk State Technical University(NMSTU)

Vladislav Alexandrovich Zamiralov

Nosov Magnitogorsk State Technical University(NMSTU)

Igorovich Egorov Mikhail

Nosov Magnitogorsk State Technical University(NMSTU)

Аннотация. *Статья посвящена определению постановки задачи и некоторых аспектов проектирования VR-тренажера «Прорыв корочки слитка под кристаллизатором МНЛЗ». Приводится анализ предметной области и описание ситуации промышленной аварии, а также формализуются этапы ее ликвидации. Приводится перечень локаций, на которых происходят основные действия тренажёра, выделяются требования к программному средству, обеспечивающих его иммерсивность.*

Annotation. *The article is devoted to the definition of the problem statement and some aspects of the design of the VR simulator "Breakthrough of the ingot crust under the crystallizer of the MNLZ". An analysis of the subject area and a description of the situation of an industrial accident are given, as well as the stages of its liquidation are formalized. The list of locations where the main actions of the simulator take place is given, the requirements for the software that ensure its immersiveness are highlighted.*

Ключевые слова: *VR-тренажёр; МНЛЗ; Прорыв корочки слитка; авария.*

Keywords: *VR simulator; MNLZ; Ingot crust breakthrough; accident.*

Актуальность темы исследования обуславливается потребностью производства в разработке новых методов и средств обучения сотрудников предприятий охране труда и промышленной безопасности. По данным проведен-

ного обзорного исследования, обучение сотрудников в виртуальной реальности — является одним из самых востребованных кейсов в ходе цифровой трансформации производства.

Прорывы корочки слитка под кристаллизатором МНЛЗ являются наиболее распространёнными и тяжелыми видами технологических ситуаций, которые сопровождаются авариями, серьезными потерями производительности машины и ухудшением качества заготовки. До 80 % процентов прорывов корочки слитка происходит вследствие «приваривания» участка корочки слитка к стенке кристаллизатора (зависание корочки слитка). Вероятность образования прорывов возрастает с повышением скорости разливки и при отклонении режимов литья от номинальных. Прорыв корочки слитка приводит к разливу жидкого металла, температура которого составляет более 1500°C , вынужденной остановке машины и потери плавки. Экономические потери от одного прорыва металла с учетом затрат на восстановление оборудования и ремонт, а также потерь производства могут достигать 1 млн. рублей [1].

Схема машины непрерывного литья заготовок представлена на рисунке 8.

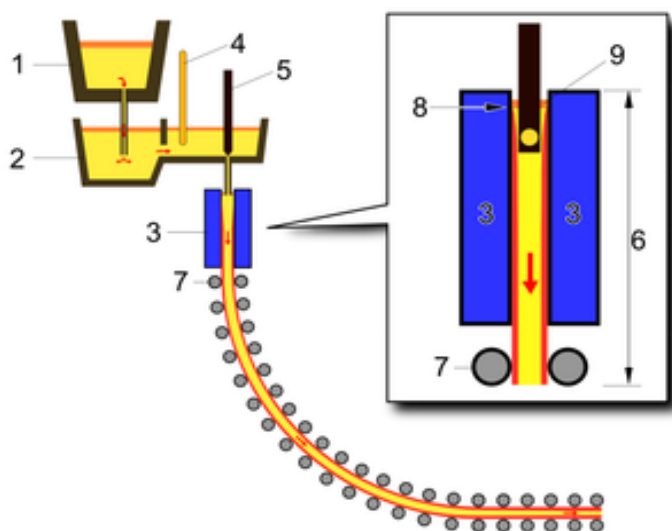


Рисунок 1 — Схема машины непрерывного литья заготовок

На рисунке 8 отмечены:

- 1 — Ковш подачи жидкого металла
- 2 — Промежуточный ковш

- 3 — Кристаллизатор
- 4 — Заслонка
- 5 — Стопор
- 6 — Зона кристаллизации
- 7 — Тянущие ролики
- 8 — Зона начала кристаллизации
- 9 — Литейный порошок

Жидкая сталь непрерывно заливается в водоохлаждаемую форму, называемую кристаллизатором. Перед началом заливки в кристаллизатор вводится специальное устройство с замковым захватом («затравка»), как дно для первой порции металла. После затвердевания металла затравка вытягивается из кристаллизатора, увлекая за собой формирующийся слиток. Поступление жидкого металла продолжается и слиток непрерывно наращивается. В кристаллизаторе затвердевают лишь поверхностные слои металла, образуя твёрдую оболочку слитка, сохраняющего жидкую фазу по центральной оси. Поэтому за кристаллизатором располагают зону вторичного охлаждения, называемую также второй зоной кристаллизации. В этой зоне в результате форсированного поверхностного охлаждения заготовка затвердевает по всему сечению. Этот процесс слиткообразования является способом получения слитков неограниченной длины. В этом случае по сравнению с разливкой в изложницы резко уменьшаются потери металла на обрезку концов слитков, которые, например, при литье спокойной стали составляют 15–25 %. Кроме того, благодаря непрерывности литья и кристаллизации, достигается полная равномерность структуры слитка по всей его длине [2].

Прилипание корочки происходит непосредственно под зеркалом металла, поскольку корочка в этой зоне тонкая и непрочная. Кроме того, расплавленный слой, выполняющий функцию смазки, в этой зоне еще недостаточно хорошо распределяется по поверхности контакта. Соответственно часть твердой корочки контактирует непосредственно с медной поверхностью кри-

сталлизатора, что повышает силу трения на этом участке. Это приводит к появлению открытой трещины под местом прилипания, которая все больше открывается с каждым циклом качания.

Порядок действий по ликвидации аварии должен быть определен в соответствии с п. 40 Плана мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий (ПМЛА) по ККЦ на 2021–2025 гг.

40	Прорыв корочки слитка под кристаллизатором.	1 Сообщить диспетчеру по телефону 256-802;256-809 или напрямую по телефону, нач. смены и мастеру, вызвать пожарную охрану по тел. 01, (в случае возгорания).	Первый заметивший аварию.	Диспетчерская цеха: носилки. На ГПУ МНЛЗ: огнетушитель, аптечки. Шкафы с аварийным инструментом.
		2 Оповестить должностных лиц и объявить через ГС об аварии.	Диспетчер.	
		3 Удалить людей из опасной зоны, выставить оцепление и оградить опасную зону*.	Мастер разливки.	
		4 Закрывать стопор (шибер) п/к.	Разливщики стали.	
		5 Не останавливая машину выдать слиток согласно технологической инструкции «А»,«Г» ТИ-101-СТ-ККЦ-10.	Разливщик стали.	
		6 Организовать встречу пожарных (в случае возгорания). При встрече пожарных подразделений направить их к месту возгорания и оповестить об опасных факторах, местах расположения водоисточников (ПГ, ПК).	Начальник смены. Мастер разливки, разливщик стали.	
		7 Выдать допуск на тушение пожара (в случае возгорания).	Мастер «ООО «СМС Зимаг МСМ».	
		8 Организовать ликвидацию последствий аварии.	Начальник смены, ПСС ООО «СМС Зимаг МСМ».	

Рисунок 2 — Пункт 40 ПМЛА по ККЦ на 2021–2025 гг.

Рассмотрим реализацию действий в соответствии с пунктами 40.1–40.7 ПМЛА по ККЦ на 2021–2025 гг. в нотации BPMN

Первый увидевший аварию оповещает должностных лиц, и, в случае необходимости, пожарную службу (рисунок 3).

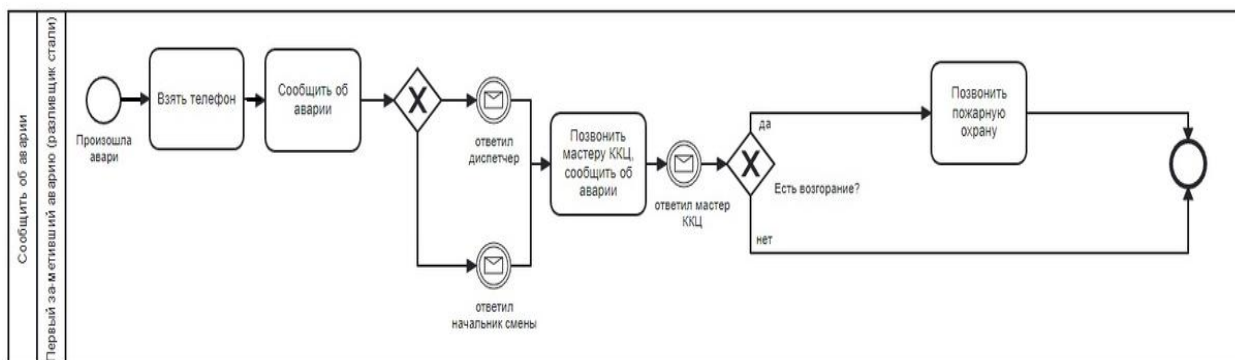


Рисунок 3 — BPMN-модель реализации действий пункта 40.1 ПМЛА по ККЦ на 2021–2025 гг.

Следующим этапом является оповещение по громкой связи и телефону диспетчером цеха (рисунок 4).

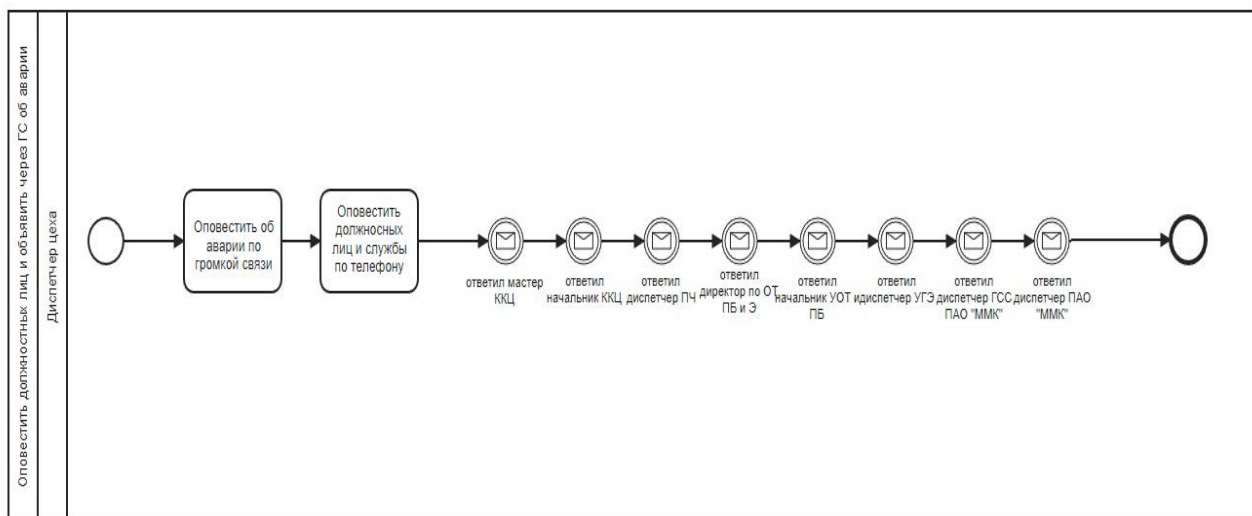


Рисунок 4 — BPMN-модель реализации действий пункта 40.2 ПМЛА по ККЦ на 2021–2025 гг

Далее следует выполнить выставление оцепления и ограждение опасной зоны (рисунок 5)

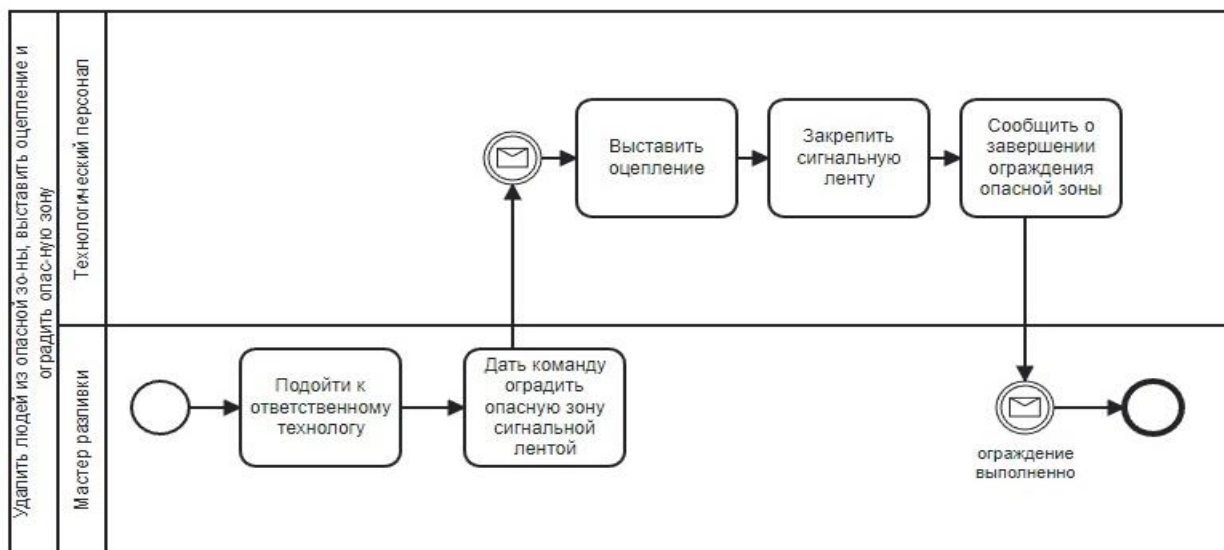


Рисунок 5 — BPMN-модель реализации действий пункта 40.3 ПМЛА по ККЦ на 2021–2025 гг

Следующий шаг закрытие стопора промышленного ковша (рисунок 6)

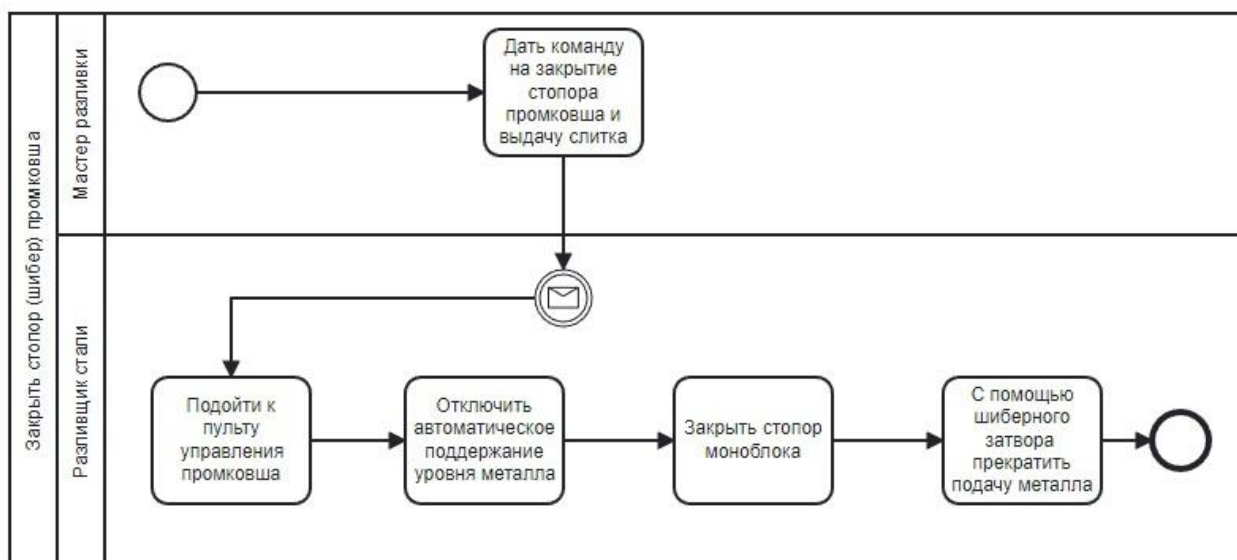


Рисунок 6 — BPMN-модель реализации действий пункта 40.4 ПМЛА по ККЦ на 2021–2025 гг

Выдача слитка происходит путем увеличения до максимума скорости подачи металла (рисунок 7)

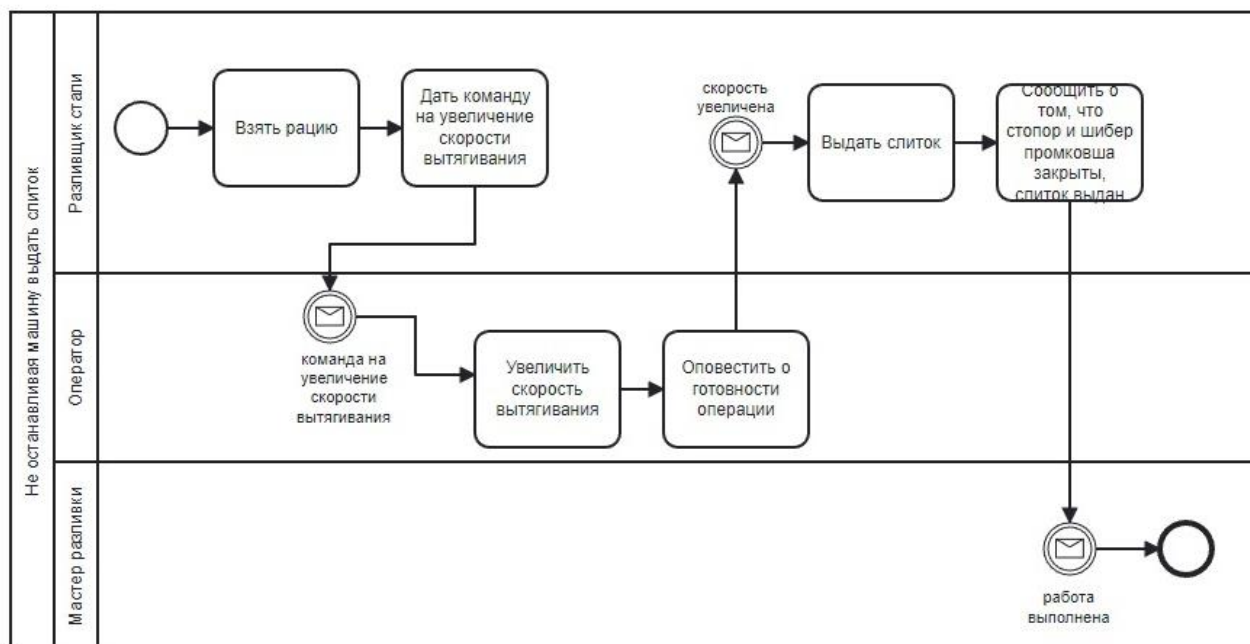


Рисунок 7 — BPMN-модель реализации действий пункта 40.4 ПМЛА по ККЦ на 2021–2025 гг

Организация встречи пожарных происходит на отметке +0.00 на въезде в цех (рисунок 8).

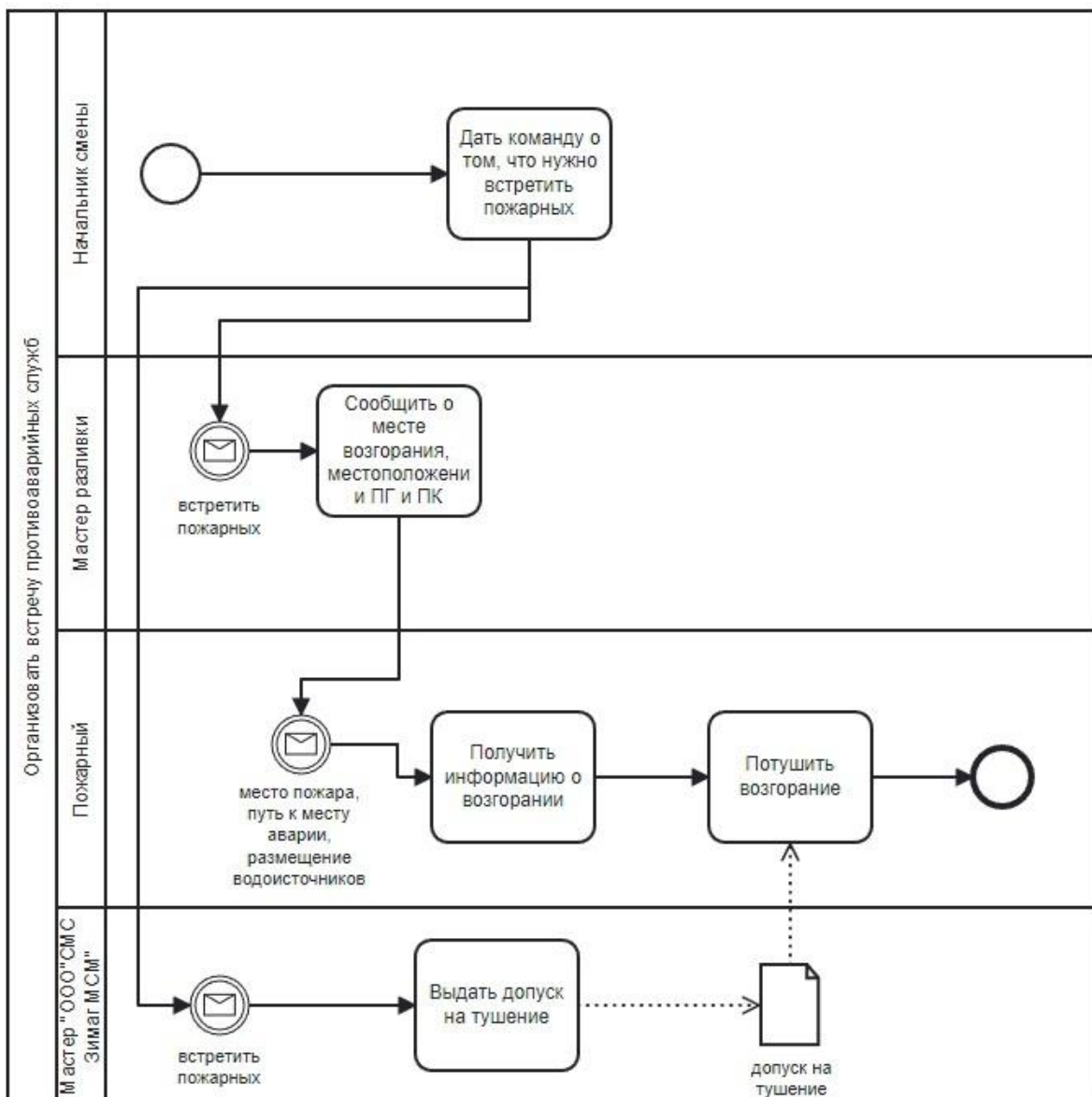


Рисунок 8 — BPMN-модель реализации действий пункта 40.5 ПМЛИА по ККЦ на 2021–2025 гг

В таблице 1 приведен перечень локаций к разработке и задания на них.

Таблица 1 — Перечень локаций и действий при ликвидации аварии при прорыве корочки слитка в кристаллизаторе

№	Локация	Задания
1	2	3
1	Зона аварии	Сообщить об аварии диспетчеру цеха т. 256-802, нач. смены и мастеру, вызвать пожарную охрану (в случае возгорания) (данный случай с возгоранием)
2	Диспетчерская цеха	Оповестить должностных лиц и объявить через ГС об аварии (вместо звонков каждому сделать тест)

3	Зона аварии	Удалить людей из опасной зоны, выставить оцепление и оградить опасную зону (радиус не менее 15 метров)
4	Зона аварии	Закрывать стопор (шибер) промковша
5	Зона аварии	Не останавливая машину выдать слиток
6	Въезд в цех	Организовать встречу противоаварийных служб Выдать допуск на тушение пожара

На этапе системного проектирования тренажера по безопасности «Прорыв корочки слитка под кристаллизатором МНЛЗ» была построена диаграмма компонентов (рисунок 9).

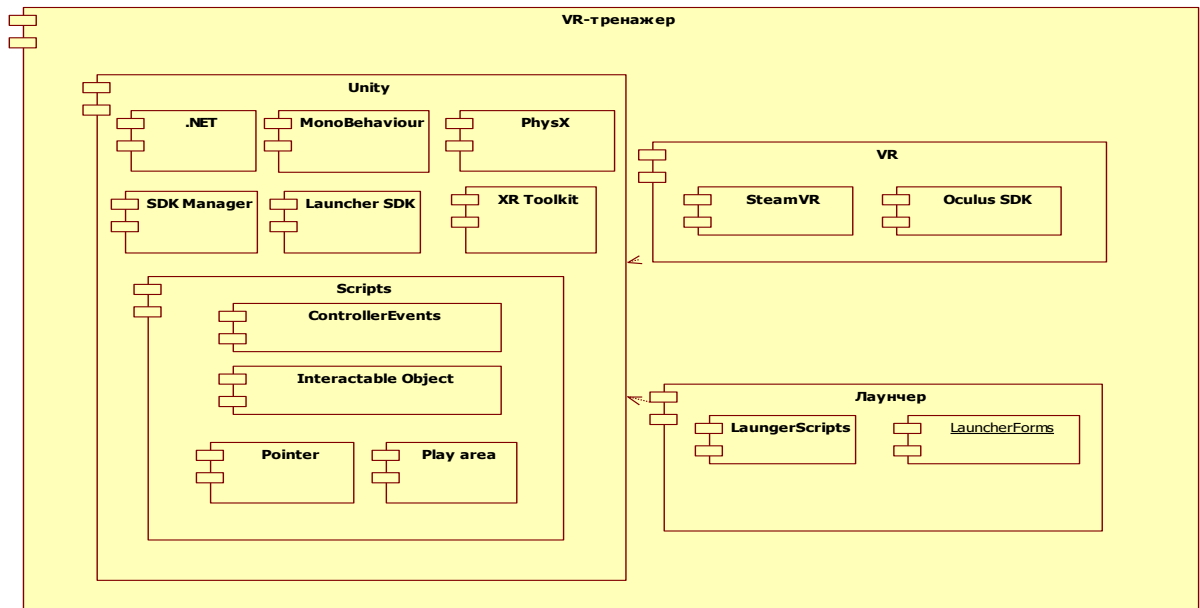


Рисунок 9 — Диаграмма компонентов тренажера по безопасности «Прорыв корочки слитка под кристаллизатором МНЛЗ»

Данная диаграмма иллюстрирует архитектуру разрабатываемого решения, установив зависимости между программными компонентами.

Перейдем к этапу детального проектирования. На диаграмме Исикавы выделим ключевые аспекты качества проработки решения по виртуальному тренажеру (рисунок 10), выделенные на основе изучения источников [3–7].

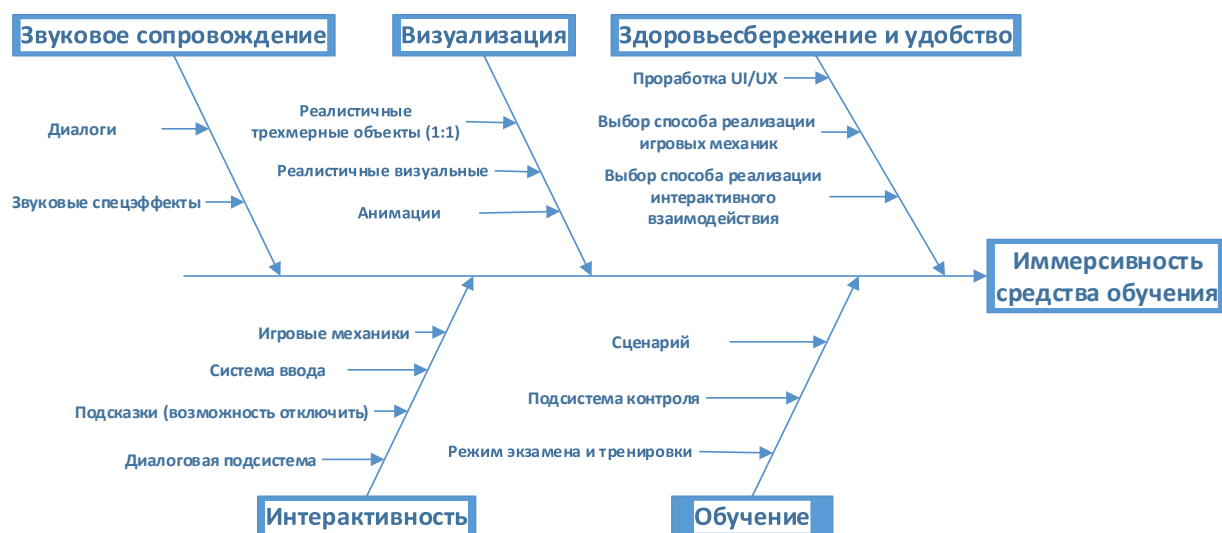


Рисунок 10 — Диаграмма Исикавы аспектов детального проектирования виртуального тренажера в целях повышения иммерсивности

Проектируемое решение позволит воссоздать иммерсивную среду, в основе которой лежит компьютерная симуляционная модель реальных процессов. В результате обучающийся после прохождения тренажера будет иметь полное представление об аварийной ситуации и правилах действия при ее возникновении. Иммерсивность и способность воссоздать большинство визуальных и звуковых ощущений выгодно отличают разрабатываемое обучающее средство от традиционных средств обучения, что позволит повысить скорость реагирования и локализации аварии персоналом, а также поспособствует снижению рисков несчастных случаев на производстве.

Список литературы

1. *Машины* непрерывного литья заготовок. Теория и расчет / Л. В. Буланов, Л. Г. Корузин, Е. П. Парфёнов [и др.]. Москва: Идеал-Пресс, 2003. 319 с. Текст: непосредственный.
2. *Кудрин, В. А.* *Металлургия стали* / В. А. Кудрин. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Metallurgy, 1989. 560 с. Текст: непосредственный.
3. *Дорожная карта* развития «сквозной» цифровой технологии «Технологии виртуальной и дополненной реальности». URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019vrrar.pdf>. Текст: электронный.

4. *Овчинникова, И. Г.* Исследование уровней формирования результатов обучения в системе профессионального образования Челябинской области вуза / И. Г. Овчинникова, Л. В. Курзаева. Текст: электронный // Спрос и предложение на рынке труда и рынке образовательных услуг в регионах России: сборник докладов по материалам Девятой Всероссийской научно-практической Интернет-конференции (31 октября – 1 ноября 2012 г.). Петрозаводск: Петрозавод. гос. ун-т, 2012. Кн. 3. С. 228–237. URL: https://studylib.ru/doc/964933/issledovanie-urovnej-formirovaniya-rezul._tatov-obucheniya-v-...?ysclid=lhtg3pdoh4894918085.

5. *Sherman, W. R.* Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design / W. R. Sherman, A. B. Craig. Publisher «Katey Birtcher», 2018. 938 p. URL: <https://www.elsevier.com/books/understanding-virtual-reality/sherman/978-0-12-800965-9>. Text: electronic.

6. *Nystrom, R.* Game Programming Patterns / R. Nystrom. Genever Benning, 2014. 354 p. Text: direct.

7. *Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review* / V. Potkonjak, M. Gardner, V. Callaghan, P. Mattila, C. Guetl, V. M. Petrovic, K. Jovanovich. Text: electronic // Computers & Education. 2016. Vol. 95. P. 309–327. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.002>.

8. *Применение VR/AR-технологий при проектировании металлургического оборудования* / Т. В. Усатая, Л. В. Дерябина, Л. В. Курзаева, Д. Ю. Усатый. Текст: электронный // Черные металлы. 2020. № 9. С. 56–61. URL: <https://rudmet.ru/journal/1952/article/32949/>.