

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**  
**ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ**  
**DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**АВАЗОВ ЮСУФ ШОДИЕВИЧ**

**КЎП КОМПОНЕНТЛИ АРАЛАШМАЛАРНИ АЖРАТИШНИНГ**  
**ТЕХНОЛОГИК МАЖМУАЛАРИ ҲАЁТИЙ ЦИКЛИНИ**  
**ИНТЕЛЛЕКТУАЛ БОШҚАРИШ**

**05.01.08 – Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни**  
**автоматлаштириш ва бошқариш**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)**  
**ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2022**

УЎК 681.518:66.048.3

**Докторлик (DSc) диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата докторской (DSc) диссертации**

**Contents of the Doctoral (DSc) Dissertation Abstract**

**Авазов Юсуф Шодиевич**

Кўп компонентли аралашмаларни ажратишнинг технологик  
мажмуалари ҳаётий циклини интеллектуал бошқариш .....3

**Авазов Юсуф Шодиевич**

Интеллектуальное управление жизненными циклами  
технологических комплексов разделения многокомпонентных смесей .....29

**Avazov Yusuf Shodiyevich**

Intelligent control of life cycles of technological complexes for the  
rectification of multicomponent mixtures .....55

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works .....59

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**  
**ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ**  
**DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**АВАЗОВ ЮСУФ ШОДИЕВИЧ**

**КЎП КОМПОНЕНТЛИ АРАЛАШМАЛАРНИ АЖРАТИШНИНГ**  
**ТЕХНОЛОГИК МАЖМУАЛАРИ ҲАЁТИЙ ЦИКЛИНИ**  
**ИНТЕЛЛЕКТУАЛ БОШҚАРИШ**

**05.01.08 – Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни**  
**автоматлаштириш ва бошқариш**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)**  
**ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2022**

Докторлик (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2020.2.DSc/T341 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент давлат техника университетидида бажарилган.  
Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tdtu.uz) ҳамда «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида (www.ziyounet.uz) жойлаштирилган.

**Илмий маслаҳатчи:** Юсупбеков Нодирбек Рустамбекович  
техника фанлари доктори, профессор, академик

**Расмий оппонентлар:** Игамбердиев Хусан Закирович  
техника фанлари доктори, профессор, академик

Каипбергенов Батирбек Тулепбергенович  
техника фанлари доктори, профессор

Парсиев Сайдирахат Солиходжаевич  
техника фанлари доктори, доцент

**Етакчи ташкилот:** “Химвтоматика” МЧЖ ҚҚ

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.T.03.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2022 йил «06» 12 соат 1600 даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (+99871) 246-46-00; факс: (+99871) 227-10-32; e-mail: tstu\_info@edu.uz).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (286 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (+99871) 246-03-41.

Диссертация автореферати 2022 йил «21» 11 кун тарқатилди.  
(2022 йил «01» 11 даги 18 - рақамли реестр баённомаси).



**Ф.Т.Адилов**  
Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш раис ўринбосари,  
т.ф.д., профессор

**У.Ф.Мамиров**  
Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш илмий котиби,  
т.ф.д., доцент

**Х.З.Игамбердиев**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш  
қошидаги Илмий семинар раиси,  
т.ф.д., профессор, академик

## КИРИШ (фан доктори (DSc) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда сўнги вақтларда саноат ишлаб чиқаришлари маҳсулотни ишлаб чиқаришдан то уни истеъмолчига етиб боришигача бўлган жараёнларни автоматлаштирилган ахборот тизимлари ёрдамида бошқаришни йўлга қўйиш мақсадида маҳсулотларнинг ҳаётий циклини бошқариш (Product Lifecycle Management – PLM) ва системалар ҳаётий циклини бошқариш (System Lifecycle Management – SysLM) тизимларига алоҳида эътибор қаратилмоқда. Бу йўналишда дунёнинг етакчи мамлакатларида маълум ютуқларга эришилган бўлиб, уларда ишлаб чиқарилаётган маҳсулот сифатини ошириш ва бошқариш тизимларини такомиллаштириш учун бошқаришнинг янги усуллари, алгоритмлари ва тизимлари ишлаб чиқилмоқда. Бироқ, мураккаб технологик мажмуалар ҳаётий циклини бошқаришда ресурс ва энергия исрофи катта бўлиб қолмоқда. Бу борада, мажмуалар ҳаётий циклини бошқаришнинг ресурс ва энергия сарфини камайтирадиган интеллектуал усуллари ва тизимларини ишлаб чиқиш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Жаҳонда мураккаб аралашмаларни ажратишнинг технологик жараёнларини бошқариш сифатини оширишга қаратилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Бу борада, технологик мажмуалар ҳаётий циклини интеллектуал бошқариш тизимларини ишлаб чиқиш ва такомиллаштириш муаммоларини ечиш долзарб ҳисобланади. Шу жиҳатдан, ҳозирги вақтда маҳсулотларнинг сифат кўрсаткичлари ҳамда энергиятежамкорликни таъминловчи интеллектуал бошқариш тизимларини яратиш, ажратиш жараёнлари ва қурилмаларини бошқариш учун ноаниқ мантқиқ усуллари асосида вазиятли бошқаришнинг ноаниқ моделлари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш, ажратишнинг технологик мажмуалари ҳаётий циклини бошқаришнинг интеллектуал тизимларини ишлаб чиқиш бўйича тадқиқотларга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Республикамизда технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни автоматлаштириш ва бошқариш йўналишларига катта аҳамият берилиб, жумладан аралашмаларни ажратишнинг технологик жараёнларни автоматлаштириш ва бошқаришда энергия ва ресурс тежамкорликни таъминловчи интеллектуал бошқариш усуллари ва тизимларини яратишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. 2022–2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг Тараққиёт стратегиясида, жумладан, «Саноат тармоқларида йўқотишларни камайтириш ва ресурсларни ишлатиш самарадорлигини ошириш ...», замонавий энергия тежамкор технологияларни жорий этиш, ... энергия самарадорликни ошириш бўйича лойиҳаларни молиялаштириш»<sup>1</sup> вазифалари белгилаб берилган. Мазкур вазифаларни амалга ошириш, жумладан, маҳсулотлар ва системалар ҳаётий циклини бошқариш концепциялари асосида кўп компонентли аралашмаларни ажратишнинг

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ–60-сон “2022–2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида”ги Фармони

технологик мажмуалари ҳаётий циклини бошқаришнинг юқори самарали усуллари ва интеллектуал тизимларини синтезлаш ва амалга ошириш муҳим масалалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2018 йил 27 апрелдаги ПҚ-3682-сон “Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалий жорий қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ва 2021 йил 17 февралдаги ПҚ-4996-сон «Сунъий интеллект технологияларини жадал жорий этиш учун шарт-шароитлар яратиш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда 2019 йил 9 июлдаги ПҚ-4388-сон «Аҳоли ва иқтисодий энергия ресурслари билан барқарор таъминлаш, нефть-газ тармоғини молиявий соғломлаштириш ва унинг бошқарув тизимини такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарори билан тасдиқланган «Ўзбекистон Республикасининг нефть-газ тармоғини 2030 йилгача ривожлантириш концепцияси» ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялари ривожланишининг III. «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» ҳамда VI. «Кимё технологиялари, нефткимё ва нанотехнологиялар» устувор йўналишлари доирасида бажарилган.

**Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи<sup>2</sup>.**

Мураккаб технологик жараёнларни автоматлаштириш ва бошқаришнинг юқори самарали тизимларини ишлаб чиқиш, маҳсулотлар ва системалар ҳаётий циклини бошқариш бўйича самарали илмий-тадқиқотлар: “Honeywell”, SIMSCI-Simulation ва University of California, Massachusetts Institute of Technology, University of Michigan (АҚШ), “Siemens” ва University of Münster (Олмония), Imperial College London (Буюк Британия), Shell Global Solution (Буюк Британия-Голландия), University of Chemical Technology in Prague (Чехия), Osaka University ва Tokyo Institute of Technology (Япония), Korea Advanced Institute of Science and Technology (Жанубий Корея), “MAWEA INDUSTRIES Enabling Digitilazition” (Малайзия) “Alstom” (Франция), “Simatek-Energo” (Беларусь), Бауман номидаги Москва давлат техника университети (Россия) каби етакчи илмий ва олий таълим муассасаларида олиб борилмоқда.

Технологик жараёнлар ва мажмуаларни бошқаришнинг интеллектуал тизимлари, алгоритмлари ва усулларини яратиш ҳамда бошқариш тизимларини такомиллаштиришга оид жаҳонда олиб борилган тадқиқотлар натижасида қатор, жумладан параметрларнинг ноаниқлиги шароитида

<sup>2</sup> Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи <https://www.honeywell.com/us/en>, <https://www.aveva.com/en/support-and-success/support-contact/simsci/>, <https://www.universityofcalifornia.edu>, <https://www.mit.edu/>, <https://umich.edu/>, <https://www.siemens.com/global/en.html>, <https://www.uni-muenster.de/en/>, <https://www.imperial.ac.uk/>, <https://www.shell.com/>, <https://www.vscht.cz/?jazyk=en>, <https://www.osaka-u.ac.jp/en/>, <https://www.titech.ac.jp/english>, <https://www.kaist.ac.kr/en/>, <https://mawea.com.my/>, <https://www.alstom.com/>, <https://energyexpo.by/catalog/2021/2213/>, <https://bmstu.ru/> ва бошқа манбалар асосида ишлаб чиқилган.

технологик жараёнлар ва объектларни интеллектуал бошқариш алгоритмлари ва тизимлари яратилган (Massachusetts Institute of Technology, Мичиган университети (АҚШ), University of Münster (Олмония), Imperial College London (Буюк Британия)); ноаниқ мантиқ асосидаги вазиятли бошқариш моделлари ишлаб чиқилган (University of Chemical Technology in Prague (Чехия), Osaka University ва Tokyo Institute of Technology (Япония)); нейронаниқ ростлагичлар ва контроллерлар асосида интеллектуал бошқариш тизимлари ва алгоритмлар ишлаб чиқилган (Korea Advanced Institute of Science and Technology (Жанубий Корея), “MAWEA INDUSTRIES Enabling Digitilazition” (Малайзия)); маҳсулотлар ҳаётий цикли ва системалар ҳаётий циклини бошқариш концепциялари асосида маҳсулотлар ва объектларнинг ҳаётий циклини бошқариш усуллари ишлаб чиқилган (Massachusetts Institute of Technology, Мичиган университети (АҚШ), University of Münster (Олмония)); корхоналар ва қурилмаларнинг ҳаётий циклини моделлаштиришда когнитив билимлардан фойдаланиш усуллари ишлаб чиқилган (Imperial College London (Буюк Британия), Massachusetts Institute of Technology (АҚШ), Бауман номидаги Москва давлат техника университети (Россия)).

Маҳсулотлар ҳаётий циклини бошқариш концепциясини қўллаган ҳолда, мураккаб технологик объектлар ва техник тизимларнинг ҳаётий циклини бошқариш тизимларини яратиш воситаларини ишлаб чиқиш бўйича жаҳонда бир қатор устувор йўналишларда илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда, жумладан, корхоналарнинг ҳаётий цикли босқичларини диагностика қилиш, «Саноат 4.0» парадигмаси элементлари асосида ақлли ишлаб чиқариш корхоналарини барпо этиш ва ҳаётий циклини баҳолаш, мураккаб технологик объектлар ва қурилмаларнинг ҳаётий цикли давомийлигини таъминловчи интеллектуал бошқариш алгоритмлари ва усулларини ишлаб чиқиш.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Саноат ишлаб чиқаришидаги мураккаб технологик жараёнларни моделлаштириш ва оптималлаштириш, маҳсулотлар ва системалар ҳаётий циклини бошқариш концепциялари асосида технологик қурилмалар, техник тизимлар ва объектларнинг ҳаётий циклини лойиҳалаш, бошқариш ва баҳолаш алгоритмлари, тизимлари ва усулларини ишлаб чиқишнинг назарий ва амалий муаммоларини тадқиқ этиш масалалари бўйича қатор хорижий олимлар, жумладан Martin Eigner<sup>3,9</sup>, Anselmi Immonen<sup>6</sup>, Abir Ismaili-Alaoui<sup>4</sup>, Michael Riesener<sup>5</sup>, Antti Saaksvuori<sup>6</sup>, Spreafico Christian<sup>7</sup>, John Stark<sup>8</sup>, Ralf Stelzer<sup>9</sup>, Thiebat Francesca<sup>10</sup>, Shiqi Wang<sup>11</sup>,

<sup>3</sup> Martin Eigner. System Lifecycle Management. Engineering Digitalization (Engineering 4.0). Monograph. –Germany “Consultant Baden-Baden, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, part of Springer Nature”, 2021. 275p.

<sup>4</sup> Abir Ismaili-Alaoui, Karim Baina, Khalid Benali. (2022). IoDEP: Towards an IoT-Data Analysis and Event Processing Architecture for Business Process Incident Management. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 13(4). -pp.900-915.

<sup>5</sup> Riesener M., Schuh G., Dolle C., Tonnesa C. (2019). The digital shadow as enabler for data analytics in product life cycle management. Procedia CIRP, 80, 729-734.

<sup>6</sup> Antti Saaksvuori, Anselmi Immonen. Product Lifecycle Management. Monograph. Third Edition. - Heidelberg (Berlin) “Springer-Verlag”. 2008. 270p.

<sup>7</sup> Spreafico C. An analysis of design strategies for circular economy through life cycle assessment. Environ Monit Assess, 194-180 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09803-1>

<sup>8</sup> John Stark. Product Lifecycle Management (Volume 3): The Executive Summary. -Geneva (Switzerland): Springer International

Stefan Wiesner<sup>12</sup>, И.Т.Давиденко<sup>13</sup>, К.Д.Жук<sup>14</sup>, А.А.Радионон<sup>14</sup>, В.Б.Тарасов<sup>15</sup>, А.А.Тимченко<sup>14</sup>, А.В.Федотова<sup>16</sup> ва бошқалар ҳамда мамлакатимиз олимлари, жумладан А.А.Абдукадиров<sup>17</sup>, Ф.Т.Адилов<sup>18</sup>, Ш.М.Гулямов<sup>19</sup>, А.И.Иваньян<sup>20</sup>, Н.Р.Юсупбеков<sup>21</sup> ва бошқалар изланишлар олиб боришган ва соҳа ривожига ўзларининг улкан ҳиссаларини кўшишган.

Юқорида айтиб ўтилган олимлар томонидан махсулотлар ҳаётий циклини бошқариш, рақамлаштириш, лойиҳалаш, ҳаётий циклини баҳолаш, газни қайта ишлаш мажмуаларини интеллектуал бошқариш тизимлари, бошқариш тизимлари учун булутли технологиялар, кимё-технологик тизимларнинг ҳаётий цикларини бошқариш алгоритмлари ва тизимларини ишлаб чиқиш муаммолари бўйича тадқиқотлар ўтказишган.

Шу билан бирга, кўриб чиқилаётган масалалар бўйича тадқиқотлар соҳасида эришилган ютуқлар, махсулотлар ва системалар ҳаётий циклини бошқариш усуллари соҳасида эришилган муҳим натижаларга қарамай, ҳозирги вақтда мураккаб технологик мажмуалар ҳаётий циклини интеллектуал бошқариш усуллари ва тизимлари етарли даражада ишлаб чиқилмаган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университети илмий-тадқиқот ишлари режаларининг Ф-7-47 – «Кўп компонентли аралашмаларни ажратиш жараёнларининг назарий асослари» (2012–2016); ОТ-Ф7-88 – «Тоza махсулотлар олишнинг энергия ва ресурстежамкор иссиқлик-масса алмашилиш жараёнларининг истиқболли мураккаб кимё-технологик тизимларининг назарий асосларини такомиллаштириш» (2017–2020) ҳамда университет дастурининг «Нефть ва газни чуқур қайта ишлашнинг

Publishing AG, 2018. – 137p.

<sup>9</sup> Ralph Stelzer, Martin Eigner. Product Lifecycle Management. -Springer Berlin, Heidelberg, 2009. 434p.

<sup>10</sup> Thibat F. Life Cycle and Sustainability: Concepts and Keywords. In: Life Cycle Design. PoliTO Springer Series. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-11497-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-11497-8_1)

<sup>11</sup> Shiqi Wang. Application of Product Life Cycle Management Method in Furniture Modular Design. Mathematical Problems in Engineering, 2022. Article ID 7192152, 10 p. <https://doi.org/10.1155/2022/7192152>

<sup>12</sup> Stefan Wiesner, Mike Freitag, Ingo Westphal, Klaus-Dieter Thoben. (2015). Interactions between Service and Product Lifecycle Management. Procedia CIRP, 30, -pp.36-41.

<sup>13</sup> Давыденко И.Т., Федотова А.В. Онтологическое моделирование технического обслуживания // материалы V междунар. науч.-техн. конф. Минск, 19-21 февраля 2015 года. – Минск: БГУИР, 2015. –С.429-438

<sup>14</sup> Жук К.Д., Тимченко А.А., Радионон А.А. Построение современных систем автоматизированного проектирования. - Киев, Наука, 1983. -248с

<sup>15</sup> Тарасов В.Б. Новые стратегии реорганизации и автоматизации предприятий: на пути к интеллектуальным предприятиям // Новости искусственного интеллекта, 1996. №4. –С.40-84

<sup>16</sup> Федотова А.В. Системы управления жизненным циклом продукции нового поколения, основанные на знаниях //Электронный научный технический журнал Инженерный вестник МГТУ, 2016. -№11 ISSN: 2307-0595. –С.531-539.

<sup>17</sup> Абдукадиров А.А. и др. Алгоритмы и системы управления жизненным циклом химико-технологической системы // Материалы XVI Международной научно-практической конференции «Наука и техника: шаг в будущее». –Прага (Чехия), 22-29 февраля 2020 г. - Том 13. –С.60-62.

<sup>18</sup> Farukh Adilov et al. Application of Digital Twin Theory for Improvement of Natural Gas Treatment Unit // 11th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perceptions and Artificial Intelligence - ICSCCW-2021. Springer Nature Switzerland AG, 2022. -PP. 1–8.

<sup>19</sup> Gulyamov Sh. Et al. Exploring of the Problematic Industry 4.0 and Platform-Based Economic Development // Lecture Notes in Networks and Systems, 2022, 362 LNNS, pp. 412–419

<sup>20</sup> Ivanyan A. et al. Design of Distributed Architecture of Refinery Complexes Control Systems by “AI Zour Refinery” Example // Lecture Notes in Networks and Systems, 2022, 439 LNNS, pp. 587–593.

<sup>21</sup> Yusupbekov N.R. et al. The Possibilities of Using Cloud Computing for Applications of Industrial Automation // Advances in Intelligent Systems and Computing, 2021, 1323 AISC, pp. 246–253.

инновацион технологияларини «Саноат 4.0» стратегияси асосида яратишнинг назарий асослари» (2021–2024) мавзуларидаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** технологик мажмуаларнинг ҳаётий циклини кўриб чиқиш назариясини такомиллаштириш, шунингдек кўп компонентли аралашмаларни ажратиш мисолида технологик жараёнларнинг ҳаётий циклини бошқариш усуллари ва тизимларини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

янгидан лойиҳаланаётган ва реконструкция қилиниши режалаштирилган технологик мажмуаларнинг ҳаётий циклини таҳлил қилиш;

кўп компонентли аралашмаларни ажратиш жараёнининг технологик мажмуалари ҳаётий цикллари харажатлари ва давомийлигини аниқлаш услубиятини ишлаб чиқиш;

ажратиш мажмуасидаги қурималарни лойиҳалаш вақтини қисқартириш ва мажмуалар ҳаётий циклини оптимал лойиҳалаш алгоритминини ишлаб чиқиш;

ажратишнинг технологик мажмуалари ҳаётий циклини бошқариш самарадорлигини ошириш ва энергия сарфини камайтиришга имкон берадиган интеллектуал бошқариш тизимини ишлаб чиқиш;

ажратиш мажмуалари ҳаётий циклини узайтириш имконини берадиган бошқариш тизимини ишлаб чиқиш;

ажратиш жараёнини бошқаришни яхшилаш имконини берадиган интеллектуал бошқариш усулини ишлаб чиқиш;

кўп компонентли аралашмаларни ажратиш жараёнининг мажмуалари ҳаётий циклини узайтириш имконини берадиган бошқариш усулини ишлаб чиқиш.

**Тадқиқотнинг объекти** кўп компонентли аралашмаларни ажратишнинг технологик мажмуалари ва уларнинг ҳаётий цикллари ҳисобланади.

**Тадқиқотнинг предмети** мураккаб технологик жараёнлар ва мажмуаларнинг ҳаётий циклини бошқариш усуллари ва алгоритмларини ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида тизимли таҳлил, автоматик бошқаришнинг замонавий назарияси, ноаниқ мантиқ усуллари, сунъий интеллект назарияси, аналитик ҳисоб усуллари, технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни моделлаштириш ва оптималлаштириш усулларидан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

технологик мажмуалар ҳаётий циклини оптимал лойиҳалаш назарияси такомиллаштирилган ва маълумотларни интеллектуал таҳлил қилиш усули асосида лойиҳалаш вақтини қисқартиришни таъминловчи алгоритм ишлаб чиқилган;

кўп компонентли аралашмаларни ажратиш мажмуалари ҳаётий циклини узайтириш имконини берадиган бошқариш тизими ва онлайн диагностика алгоритми ҳолат кузатувчилари асосида ишлаб чиқилган;

технологик жараёнларни бошқариш назарияси такомиллаштирилган ва кўп компонентли аралашмаларни ажратишнинг технологик мажмуалари ҳаётий циклини бошқариш самарадорлигини ошириш ва энергия сарфини камайтириш имконини берадиган интеллектуал бошқариш тизими ишлаб чиқилган;

системалар ҳаётий циклини бошқариш тизимлари асосида кўп компонентли аралашмаларни ажратиш жараёнининг қурилмалари ҳаётий циклини узайтириш имконини берадиган ажратиш жараёнини бошқариш усули ишлаб чиқилган;

вазиятли бошқаришнинг ноаниқ модели асосида маҳсулот сифатини ошириш ва ажратиш жараёнини бошқаришни яхшилаш имконини берадиган кўп компонентли аралашмаларни ажратиш жараёнларини интеллектуал бошқариш усули ишлаб чиқилган;

ҳаётий циклнинг ҳар бир босқичидаги харажатларни ҳисоблаш асосида мажмуа ҳаётий циклининг умумий нарҳини баҳолаш имконини берадиган ҳаётий цикл давомийлиги ва нарҳини аниқлаш услубияти таклиф этилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

кўп компонентли аралашмаларни ажратиш жараёнларини интеллектуал бошқариш усулини амалга оширишни тавсифловчи функционал схема ишлаб чиқилган;

ажратиш жараёнининг қурилмалари ҳаётий циклини узайтириш имконини берадиган ажратиш жараёнини бошқариш усули ишлаб чиқилган;

ажратишнинг технологик жараёнлари мажмуалари ҳаётий циклини оптимал лойиҳалаш алгоритми ишлаб чиқилган;

ажратиш мажмуалари ҳаётий циклини узайтиришга хизмат қилувчи онлайн диагностика алгоритми ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги ноаниқ мантқ ва вазиятли бошқариш алгоритмларига асосланиб, кўп компонентли аралашмаларни ажратиш жараёнларини интеллектуал бошқариш усулини ҳамда системалар ҳаётий циклини бошқариш асосида ажратиш қурилмалари ҳаётий циклини узайтирувчи бошқариш усулини ишлаб чиқиш, шунингдек, замонавий усуллар ва воситалардан фойдаланиб, ўтказилган назарий ва тажрибавий тадқиқотлар натижаларининг ўзаро мувофиқлиги, саноат-синов тажрибалари натижаларининг ижобийлиги билан тасдиқланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти ҳаётий циклини аниқлаш назариясининг такомиллаштирилганлиги, ажратишнинг технологик жараёнларини интеллектуал бошқариш усулларини ва қурилмалар ҳаётий циклини узайтириш имконини берадиган бошқариш усулини ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти кўп компонентли аралашмаларни ажратишнинг технологик жараёнларини интеллектуал бошқариш усули ва мажмуалар ҳаётий циклини узайтириш имконини

берувчи бошқариш усули, интеллектуал бошқариш тизими, ҳаётий циклини лойиҳалашни оптималлаштириш ва онлайн диагностика алгоритмларини нефтқимё ва нефтгазни қайта ишлаш саноатларидаги ажратиш мажмуалари ҳаётий циклини бошқаришда қўллаш энергия ва ресурс сарфини 3-4 % га камайтириши билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Ажратишнинг технологик мажмуалари ҳаётий циклини интеллектуал бошқариш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

кўп компонентли аралашмаларни ажратиш жараёнларини интеллектуал бошқариш усуллари «Фарғона нефтни қайта ишлаш заводи» МЧЖда жорий қилинган («O'ZLITINEFTGAZ» АЖ нинг 2022 йил «17» октябрдаги 35/2771-сон маълумотномаси). Натижада ажратиш жараёнини бошқариш сифатини яхшилашга ва қурилмалар ҳаётий циклини узайтиришга имкон берган;

маълумотларни интеллектуал таҳлил қилиш усули асосида технологик жараёнлар мажмуалари ҳаётий циклини оптимал лойиҳалаш алгоритми «Фарғона нефтни қайта ишлаш заводи» МЧЖда жорий қилинган («O'ZLITINEFTGAZ» АЖ нинг 2022 йил «17» октябрдаги 35/2771-сон маълумотномаси). Натижада ажратиш жараёнининг мажмуаларини лойиҳалаш вақтини қисқартириш имконини берган;

кўп компонентли аралашмаларни ажратиш технологик мажмуасини интеллектуал бошқариш тизими «Фарғона нефтни қайта ишлаш заводи» МЧЖда жорий қилинган («O'ZLITINEFTGAZ» АЖ нинг 2022 йил «17» октябрдаги 35/2771-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижалари ажратишнинг технологик мажмуалари ҳаётий циклини бошқариш самарадорлигини ошириш ва энергия сарфини 3 % га камайтириш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари 8 та халқаро ва 1 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Бажарилган тадқиқот натижалари бўйича 25 та илмий иш, жумладан, ЎзР ОАК эътироф этган илмий журналларда 12 та мақола, улардан 4 таси хорижда чоп этилган, ихтироларга 1 та патент ва 1 та ижобий қарор, ЭҲМ учун дастурий воситаларнинг қайд этилганлиги тўғрисида 2 та гувоҳнома олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 192 бетни ташкил этган.

## **ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

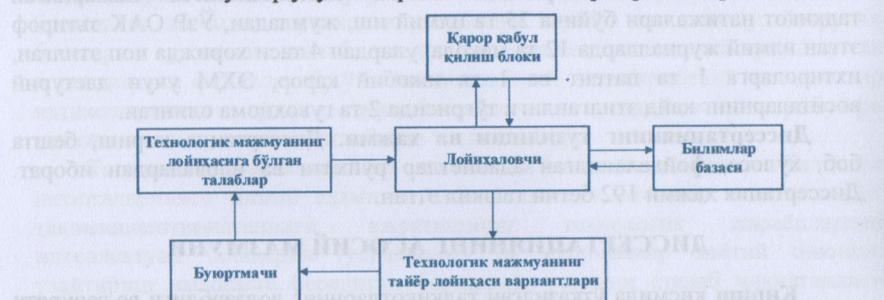
**Кириш** қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари, объект ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқот мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шархи,

муаммонинг ўрганилганлик даражаси келтирилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «Кўп компонентли аралашмаларни ажратиш мажмуаларининг ҳаётий циклини интеллектуал бошқаришнинг замонавий ҳолати» деб номланган биринчи бобида илмий-техник муаммонинг замонавий ҳолати танқидий жиҳатдан таҳлил этилган. Ажратиш жараёнларини моделлаштириш ва оптималлаштириш масалалари таҳлил қилинган. Ажратиш мажмуаларининг ҳаётий циклини бошқариш усуллари ва тизимларини ишлаб чиқиш, маҳсулот сифатини яхшилаш ва энергия сарфини камайтириш имконини берадиган имкониятлар асосланган. Ажратиш мажмуаларининг ҳаётий циклини бошқариш усуллари ва тизимларини маҳсулотлар ҳаётий циклини бошқариш ҳамда системалар ҳаётий циклини бошқариш концепциялари асосида қуришнинг мумкинлиги кўрсатилган. Ҳаётий циклини бошқариш концепцияларининг ривожланиш тенденциялари аниқланган.

Диссертациянинг «Кўп компонентли аралашмаларни ажратиш жараёнларининг технологик мажмуалари ҳаётий циклини лойиҳалаш» деб номланган иккинчи бобида кўп компонентли аралашмаларни ажратиш мажмуаларини лойиҳалаш усуллари баён этилган. Кўп компонентли аралашмаларни ажратиш мажмуасининг ҳаётий циклини лойиҳалаш структураси ҳамда лойиҳаларнинг орасидан энг мақбулини танлаш алгоритми ишлаб чиқилган.

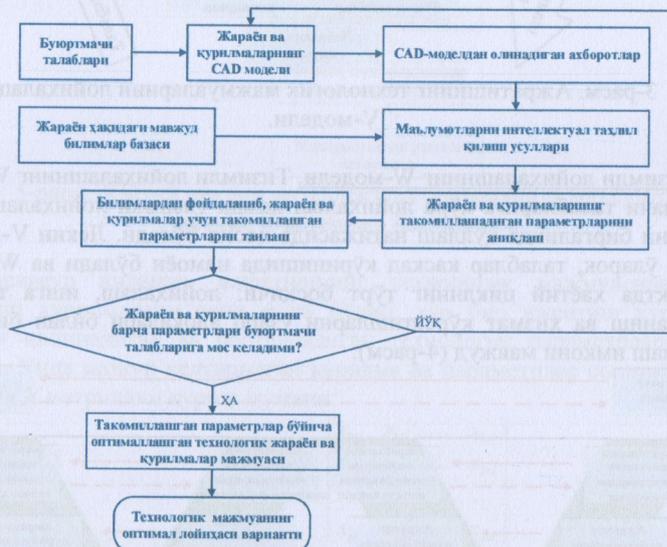
Технологик мажмуаларнинг лойиҳаларини ишлаб чиқишни структуравий схема (1-расм) кўринишида тасвирлаш мумкин: буюртмачи, технологик мажмуалар лойиҳасига буюртмачи томонидан қўйиладиган талаблар, лойиҳаловчи, билимлар базаси, қарор қабул қилиш блоки ва технологик мажмуалар учун тайёрланган лойиҳалар вариантлари.



1-расм. Технологик мажмуалар лойиҳасини ишлаб чиқиш структураси.

Буюртмачи лойиҳанинг қиймати, унинг афзалликлари ва лойиҳани амалга ошириш муддатлари каби асосий талабларни шакллантиради ва

уларга бўлган чегараланишларни белгилаб беради. Технологик мажмуалар лойиҳасига буюртмачи томонидан қўйиладиган талаблар буюртмачи томонидан ишлаб чиқилади ва лойиҳаловчига тақдим этилади. Лойиҳаловчининг вазифаси буюртмачи талабларини таҳлил қилган ҳолда билимлар базаси, қарор қабул қилиш блокларидан фойдаланиб, лойиҳанинг дизайни ва уни амалга ошириш кетма-кетликларини белгилаб олишдан иборат. Билимлар базаси технологик жараёнлар ва қурилмалар, уларнинг стандартга солинган геометрик кўринишлари ҳақидаги турли билимларни ўз ичига камраб олади. Тайёрланган лойиҳалар вариантлари буюртмачига тақдимот қилинади. Қарор қабул қилиш блоки сунъий интеллект технологиялари билан таъминланган бўлиб, мазкур блок таркибига ишлаб чиқиладиган лойиҳаларнинг оптимал вариантини танлаш алгоритми киритилади (2-расм).

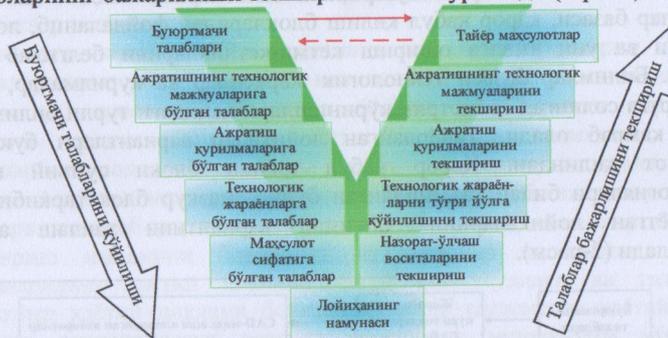


2-расм. Технологик мажмуа лойиҳалари орасидан энг мақбулини танлаш алгоритми.

Технологик жараённинг компьютерли дизайнидаги маълумотлар интеллектуал таҳлил қилиш усуллари асосида таҳлил қилинади ва бунда жараён ҳақидаги билимлар базасининг маълумотларига ҳам мурожаат қилинади. Бундай таҳлил хатоликларни максимал даражада камайтириш имконини беради.

Тизимли лойиҳалашнинг V-моделли. Тизимли лойиҳалашнинг бир нечта моделлари мавжуд бўлиб, уларнинг ичида тузилишига кўра энг содда ва тадқиқотчига кўпроқ ахборот берадигани анъанавий V-модель ҳисобланади. V-моделнинг чап томони юқоридан пастга йўналиш кўп компонентли

аралашмаларни ажратишнинг технологик мажмуаларини лойиҳалаш учун уларга буюртмачи томонидан белгиланган талабларнинг модулли иерархия бўйича қўйилишини ифодалайди, ўнг қисми эса пастдан юқорига йўналишда бу талабларнинг бажарилиши текширилишини кўрсатади (3-расм).



3-расм. Ажратишнинг технологик мажмуаларини лойиҳалашнинг V-моделли.

Тизимли лойиҳалашнинг W-моделли. Тизимли лойиҳалашнинг W-моделли буюртмачи талабларига кўра лойиҳалаш ҳамда тизимли лойиҳалашнинг V-моделлини биргаликда қўллаш натижасида ҳосил бўлади. Лекин V-моделдан фарқли ўларок, талаблар каскад кўринишида намоён бўлади ва W-моделда бир вақтда ҳаётий циклнинг тўрт босқичи: лойиҳалаш, ишга тушириш, фойдаланиш ва хизмат кўрсатишларни ўзаро алоқалари билан биргаликда тасвирлаш имкони мавжуд (4-расм).



4-расм. Ажратишнинг технологик мажмуалари ҳаётий циклни тизимли лойиҳалашнинг W-моделли.

Ажратишнинг технологик мажмуаларининг ҳаётий циклни лойиҳалашда W-моделдан фойданишнинг афзаллиги шундаки, бундай

моделларда бир нечта мақсадлар амалга оширилади. Масалан, нефтни бирламчи қайта ишлашдаги ажратишнинг технологик мажмуалари ҳаётий циклини лойиҳалаш учун таклиф этилаётган W-моделда тўртта мақсад назарда тутилган: лойиҳалашни оптималлаштириш, лойиҳани ишга туширишда оптималлаштириш, технологик параметрларни оптималлаштириш ва харажатларни оптималлаштириш.

Лойиҳага ўзгартиришларни киритиш имкониятини таъминлаш учун маълумотларни ноаниқ кластерлаш амалга оширилади. Маълумотларни ноаниқ кластерлаш уларнинг бир-бири билан алоқасини қанчалик яқинлигини баҳолашга асосланади (5-расм).



5-расм. Ҳаётий цикли интеллектуал бошқаришда маълумотларни ноаниқ кластерлаш босқичлари.

Тасаввур қиламиз, ажратишнинг технологик мажмуасида мавжуд ажратиш қурилмалари сони  $n$  та бўлиб, ҳар бир ажратиш қурилмасида назорат қилинадиган ва ростланадиган технологик параметрлар  $m$  турли бўлсин. Унда мазкур келтирилган қурилма ва параметрлар сонига қўра  $n \times m$  ўлчамли  $X$  матрицани қуриш мумкин:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Энди ҳар бир қурилмага тўғри келувчи параметрларга оид маълумотларни мувофиқлаштирамиз. Бунда қуйидаги ифодадан фойдаланамиз:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}}{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( x_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \right)^2}} \quad (i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m). \quad (2)$$

Мувофиқликнинг минимум ва максимум қийматларини мос равишда  $\min \{x'_{ij}\} = A$  ва  $\max \{x'_{ij}\} = B$  каби белгилаб олсак, қуйидаги корреляцион боғлиқлик ифодасини ҳосил қиламиз:

$$y_{ij} = \frac{x'_{ij} - A}{B - A}, \quad 0 \leq y_{ij} \leq 1. \quad (3)$$

Агар ноаниқлик шароитида олинган чикиш параметрларини  $Y = [y]_{n \times m}$  кўринишда ёзиш мумкин бўлса, унда мувофиқликнинг ноаниқ матрицаси  $\tilde{T}$  ни куйидаги кўринишда ёзамиз:

$$\tilde{T} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1m} \\ t_{21} & t_{22} & \dots & t_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ t_{n1} & t_{n2} & \dots & t_{nm} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

бу ерда  $t_{ij} = y_i$  ва  $y_j$  параметрлар ўртасидаги мувофиқлик даражасини билдиради.

Ажратиш қурилмаларига оид маълумотлар мувофиқлаштириб бўлингач, улар мос равишда бошқариш тизимига узатилади. Бунда ҳосил бўлган матрицага ноаниқ эквивалент бўлган матрица  $\tilde{T}^k$  ҳам мавжуд бўлади ва транзит матрица вазифасини бажаради:

$$i(\tilde{T}) = \tilde{T}^k = \underbrace{\tilde{T} \circ \tilde{T} \circ \dots \circ \tilde{T}}_k, \quad (5)$$

бу ерда “ $\circ$ ” белги керакли ҳолларда унинг ўрнида  $(\wedge, \vee)$  ноаниқ амаллардан фойдаланишини билдиради.

Ажратиш қурилмаларининг конструктив ва технологик параметрлари бир-бирдан фарқ қилишини эътиборга олган ҳолда, модулли ёндашувни қўллаймиз. Бунда ҳар бир тур ажратиш қурилмасининг ишлашдаги ишонччилик даражаси  $\lambda$  қанча юқори ( $\lambda$  нинг қиймати 0 дан 1 гача оралиқда ётади) бўлса, унда юз берадиган жараён шунча мураккаб ва технологик параметрлар сони кўп бўлади. Ажратиш қурилмалари мажмуаси модулларга ажратиб бўлингач, кўп мақсадли оптималлаштириш амалга оширилади. Оптималлаштириш учун куйидаги чегараланишлар танлаб олинган:

$F_M$  – кўп компонентли аралашмани ажратиш мажмуаси таркибининг мураккаблиги;  $F_K$  – ажратиш қурилмаси конструкциясининг соддалиги;  $F_J$  – ажратиш жараёнининг мураккаблиги;  $F_X$  – хизмат кўрсатишнинг осонлиги.

Ажратишнинг технологик мажмуаси ҳаётий циклини ҳар бир босқичи учун мос боғлиқликларни келтирамиз.

Ажратишнинг технологик мажмуалари модулларини лойиҳалаш босқичи учун:

$$F_M = -\frac{1}{r_M} \sum_{i=1}^n [d_i \ln d_i + (1-d_i) \ln(1-d_i)], \quad (6)$$

бу ерда  $r_M$  – мажмуадаги қурилмага мос келувчи “М” модулга мос келувчи тартиб рақами;  $d_i$  – қурилмани лойиҳалаш босқичидаги  $i$ -функциянинг аниқланганлик даражаси.

Ажратиш қурилмаларидан ишлаб чиқаришда фойдаланиш босқичи учун:

$$F_K = -\frac{1}{r_M} \sum_{i=1}^n [f_i \ln f_i + (1-f_i) \ln(1-f_i)], \quad (7)$$

бу ерда  $f_i$  – ишлаб чиқариш босқичидаги  $i$ -функциянинг аниқланганлик даражаси.

Ажратиш қурилмасида юз берадиган ажратиш жараёни учун:

$$F_{жс} = -\frac{1}{a} \sum_{j=1}^{r_M} \frac{n_i(j)}{n} \ln \frac{n_i(j)}{n}, \quad (8)$$

$n_i(j)$  –  $j$ -модулга мос ажратиш курилмасидаги жараённинг функцияси.

Лойиҳада ҳар бир курилмага мос келувчи  $i$ -модулнинг ишдан чиқишини  $\eta_i$  билан белгиласак, унда ишдан чиқишларга хизмат кўрсатиш босқичи учун қуйидаги боғлиқликни ёзамиз:

$$F_x = -\frac{1}{r_M} \sum_{i=1}^n [\eta_i \ln \eta_i + (1 - \eta_i) \ln (1 - \eta_i)]. \quad (9)$$

Юқорида келтирилган ифодаларга асосланиб, ажратишнинг технологик мажмуалари ҳаётий циклини лойиҳалашда модуллар сонини оптималлаштириш учун ҳар бир босқичда минимал қийматга эришиш лозим. Бундай оптималлаштириш масаласининг ечими  $S(Y)$  функционал орқали аниқланади:

$$S(Y) = \min \{ \tilde{F}_M + \tilde{F}_K + \tilde{F}_Ж + \tilde{F}_X \}, \quad (10)$$

бу ерда  $\tilde{F}_M; \tilde{F}_K; \tilde{F}_Ж$  ва  $\tilde{F}_X$  – мос равишда мажмуа, курилма, технологик жараён ва хизмат кўрсатиш бўйича қўйилган чекланишли функцияларнинг баҳолари.

Мазкур баҳолар мос равишда қуйидаги ифодалар орқали аниқланиши мумкин:

$$\tilde{F}_M = \frac{F_M}{\sum_{i=1}^N F_M}, \quad \tilde{F}_K = \frac{F_K}{\sum_{i=1}^N F_K}, \quad \tilde{F}_Ж = \frac{F_Ж}{\sum_{i=1}^N F_Ж}, \quad \tilde{F}_X = \frac{F_X}{\sum_{i=1}^N F_X}. \quad (11)$$

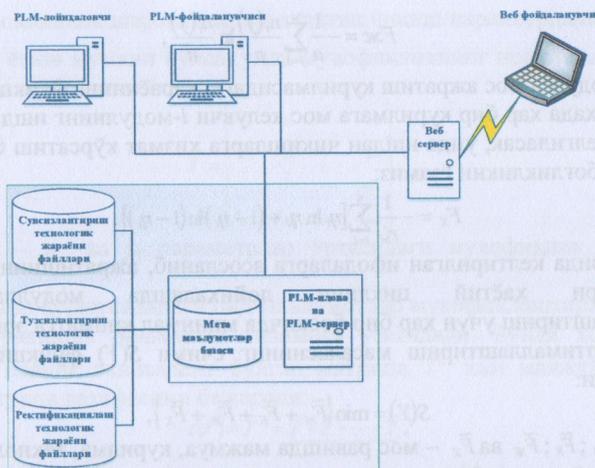
Ажратишнинг мураккаб технологик мажмуалари ҳаётий циклини лойиҳалашда модулли ёндашувдан фойдаланиш айрим ўхшаш модуллар (курилмалар)ни такроран лойиҳалашдан халос бўлиш афзаллигига эга. Бундан ташқари, модулларни лойиҳалашда кўп параметрли оптималлаштиришдан фойдаланиш айрим параметрларни оптималлаштириш натижасига таъсири юқори бўлишининг олдини олиш имконини беради.

Диссертациянинг «Кўп компонентли аралашмаларни ажратиш жараёнларининг технологик мажмуалари ҳаётий циклини интеллектуал бошқариш тизимини ишлаб чиқиш» номли учинчи бобида кўп компонентли аралашмаларни ажратишнинг технологик мажмуалари ҳаётий циклини интеллектуал бошқариш тизимлари таклиф этилган.

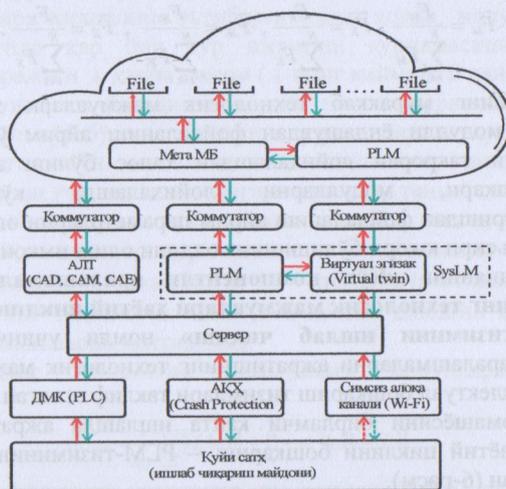
Нефть хомашёсини бирламчи қайта ишлашда ажратиш технологик жараёнлари ҳаётий циклини бошқариш – PLM-тизимининг архитектураси ишлаб чиқилган (6-расм).

PLM-иловалардан фойдаланиш яратилган ҳужжатларни қайд этиш, сақлаш ва улардан фойдаланишларни бошқариш, уларнинг мазмунини ўзгартириш жараёнларини бошқариш, шунингдек ишлаш давомида киритилган ўзгаришлар ҳақида фойдаланувчиларга хабар бериш имконини беради.

Ахборот технологияларининг замонавий ютуқларидан фойдаланиш ва «Саноат 4.0» концепцияси асосида кўп компонентли аралашмаларни ажратишнинг технологик мажмуалари ҳаётий циклини интеллектуал бошқариш тизимининг архитектураси курилган (7-расм).



6-расм. Нефть хомашёсини бирламчи қайта ишлаш технологик жараёнларининг ҳаётий циклини бошқариш тизими архитектураси.



7-расм. Кўп компонентли аралашмаларни ажратишнинг технологик мажмуалари ҳаётий циклини интеллектуал бошқариш тизимининг архитектураси.

Хусусан, рақамли моделлаштириш ва симсиз технологиялар, компьютер тизимлари ва тармоқлари, булутли технологиялар, маҳсулотлар ҳаётий циклини бошқариш – PLM, системалар ҳаётий циклини бошқариш – SysLM, виртуал эгизак – Virtual Twin, ашёлар интернет – IoT каби технологиялар мураккаб технологик мажмуаларнинг ҳаётий циклини интеллектуал

бошқариш имконини яратади.

Мураккаб технологик мажмуаларнинг ҳаётий циклини интеллектуал бошқариш тизимининг асосий вазифаси мураккаб узлуксиз технологик жараёнлар юз берадиган мураккаб технологик мажмуаларни бошқаришдан иборат. Мажмуа таркибига ажратиш қурилмалари, назорат-ўлчаш асбоблари, бошқариш қарорларини ижро этувчи қурилмалар ва турли замонавий сенсорлар киради. Бундан ташқари, архитектурада симсиз алоқа воситалари мавжуд бўлиб, улар маълумотлар алмашинувида иштирок этади. Архитектурадаги сервер эса қуйи сатҳда амалга оширилган назорат-ўлчаш ахборотларини интеллектуал бошқариш тизимининг юқори сатҳларига узлуксиз, аниқ манзилли ва ўз вақтида етиб боришини, шунингдек ижро механизмларига келишини таъминлайди. Сервер қуйи сатҳ билан дастурланадиган мантиқий контроллерлар, аварияга қарши ҳимоя тизимлари ва симсиз алоқа воситалари орқали ўзаро мулоқотни ташкил этади. Сервердан юқорида эса SysLM ва саноат корхонасининг булути туради. Системалар ҳаётий циклини бошқариш тизими – SysLM нинг асосини маҳсулотлар ҳаётий циклини бошқариш тизими – PLM ва Виртуал эгизак ташкил этади. Бу қисмнинг асосий вазифаси рақамли моделлаштириш маҳсулоти ҳисобланган Виртуал эгизакдаги асосий қўрсаткичларни намуна қилиб олган ҳолда маҳсулотлар ҳаётий циклини бошқаришдан иборат.

Архитектуранинг энг юқори қисмида жойлашган булутдаги мета маълумотлар базаси жараённинг ҳар бир вақт бўйича барча маълумотларини ўзида мужассамлаштиради ва интеллектуал бошқариш тизимининг самарали фаолиятини йўлга қўйиш учун зарур бўлган катта ҳажмдаги маълумотларга тезкор ишлов беришни таъминлайди.

Ажратиш мажмуалари ҳаётий циклини бошқаришда параметрлар ноаниқлиги. Кўп компонентли аралашмаларни ажратишнинг технологик мажмуалари ҳаётий циклини бошқаришда ажратиш мажмуасининг иш фаолиятига бир вақтнинг ўзида ҳам ноаниқликлар ҳам бошқариш сигналлари таъсир қилади. Ноаниқликлар, ўз навбатида, ажратиш мажмуасининг ҳулқига ҳам ўз таъсирини ўтказиши. Шу сабабли, ажратиш мажмуасининг технологик функцияларига алоҳида эътибор қаратиш лозим (8-расм).



8-расм. Ажратиш мажмуасининг технологияси, технологик функциялари ва ҳаётий циклига ноаниқликларни таъсир этиши.

Параметрлар ноаниқликларини ҳисобга олган ҳолда тузилган технологик функциялардан, улар номонанд бўлиб қолмагунча, кўп марта фойдаланиш мумкин. Параметрлар ноаниқликларини “назорат қилиш ва баҳолаш” мумкин

бўлган ҳолларда ажратиш мажмуасининг ҳаётий цикли муваффақиятли такрорланиши ва фойда келтириши кафолатланади.

Кўп компонентли аралашмаларни ажратиш мажмуасининг технологик функцияларини бажаришда ҳаракатлар ноаниқлиги ва кириш параметрлари ноаниқлигини алоҳида ажратиб кўрсатамиз (9-расм). Ҳаракатлар ноаниқлиги ҳаётий циклнинг бирор босқичини амалга оширишда юзага келадиган ҳолат билан ифодаланади.



9-расм. Ажратиш мажмуасининг технологик функциялари.

Кириш параметрлари ноаниқлигининг мажмуа ҳаётий циклини бошқаришга таъсири Монте-Карло усули билан тавсифланган бўлиб, ҳар бир кириш параметри  $X_i$  учун эҳтимоллар зичлиги функцияси қиймати танланган. Кейин, ажратиш жараёни учун тузилган моделнинг чиқиш қийматлари ҳисобланади. Моделнинг чиқиш қийматлари  $z$  қуйидаги тенглама билан ифодаланади:

$$z = \sum W_i X_i, \quad (12)$$

бу ерда  $W_i$  – сезгирлик коэффициенти;  $X_i$  – кириш параметрлари;  $z$  – чиқиш қийматлари.

Кириш параметрлари  $X$ , сезгирлик коэффициентлари  $W$  ва чиқиш қийматлари  $z$  мос равишда қуйидаги ифодалар билан тавсифланади:

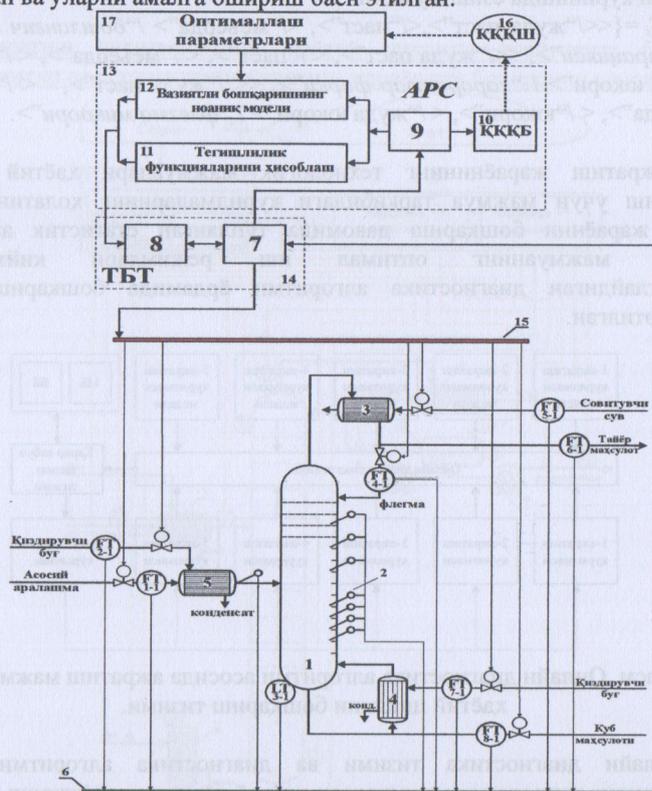
$$X = \begin{bmatrix} x_1(1) & \dots & x_n(1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1(N) & \dots & x_n(N) \end{bmatrix}, \quad (13)$$

$$W = [w_1 \dots w_n], \quad (14)$$

$$z = (w^T \cdot X^T)^T, \text{ ёки } \begin{pmatrix} w^T \cdot x(1) \\ \dots \\ w^T \cdot x(N) \end{pmatrix}, \quad (15)$$

бу ерда  $N$  – итерациялар сони.

Кўп компонентли аралашмаларни ажратиш мажмуасининг технологик функцияларига таъсир кўрсатувчи асосий иккита омил ажратиб кўрсатилган, улар: ноаникликлар ва бошқариш. Умуман, мажмуа ҳаётий циклини бошқаришнинг интеллектуал тизимини куришда ноаникликларни ҳисобга олиш мажмуа фаолиятини бошқаришни ташкил этишда яхши самара беради. Диссертациянинг «Кўп компонентли аралашмаларни ажратиш жараёнлари технологик мажмуалари ҳаётий циклини бошқариш усулларини ишлаб чиқиш» номли тўртинчи бобида ажратишнинг технологик мажмуалари ҳаётий циклини бошқариш усуллари ишлаб чиқилган ва уларни амалга ошириш баён этилган.



10-расм. Кўп компонентли аралашмаларни ажратиш жараёнини интеллектуал бошқариш усулини амалга оширишнинг функционал схемаси.

Таклиф этилган интеллектуал бошқариш усулининг функционал схемасида иккита асосий ташкил этувчи қисмлар: бошқаришнинг такомиллаштирилган APC-тизими ва тақсимланган бошқариш тизими (ТБТ) алоҳида ажратиб кўрсатилган. Тузилиш схемасида APC – Advanced Process

Control – такомиллаштирилган бошқариш тизими, ТБТ – тақсимланган бошқариш тизими, ҚҚҚБ – қарор қабул қилувчи блок, ҚҚҚШ – қарор қабул қилувчи шахс ва уларнинг вазифалари келтирилган.

Таклиф этилаётган интеллектуал бошқариш усули вазиятли бошқаришнинг ноаниқ модели асосида, ноаниқ модель эса тегишлилик функцияларини ҳисоблашга асосланади. Лингвистик ўзгарувчи сифатида маҳсулотнинг сифат кўрсаткичи, яъни дистиллят концентрацияси олинган:

<<«Дистиллят концентрацияси – С», С', Х».

Мос термларни ёзиш орқали вазиятли бошқаришнинг ноаниқ моделини куйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$S_i = \{ \langle \langle \text{“жуда паст”} \rangle, \langle \text{“паст”} \rangle, \langle \text{“меъёрда”} \rangle / \langle \text{“бошланғич аралишма концентрацияси”} \rangle, \langle \langle \text{“жуда паст”} \rangle, \langle \text{“паст”} \rangle, \langle \text{“меъёрда”} \rangle, \langle \text{“юкори”} \rangle, \langle \text{“жуда юкори”} \rangle / \langle \text{“ҳароратлар фарқи”} \rangle, \langle \langle \text{“жуда паст”} \rangle, \langle \text{“паст”} \rangle, \langle \text{“меъёрда”} \rangle, \langle \text{“юкори”} \rangle, \langle \text{“жуда юкори”} \rangle / \langle \text{“флегма миқдори”} \rangle.$

Ажратиш жараёнининг технологик мажмуалари ҳаётий циклини бошқариш учун мажмуа таркибидаги қурилмаларнинг ҳолатини таҳлил қилиб, жараёни бошқариш давомида тўпланган статистик ахборотлар асосида мажмуанинг оптимал иш режимлари қийматларини башоратлайдиган диагностика алгоритми ёрдамида бошқариш тизими таклиф этилган.



11-расм. Онлайн диагностика алгоритми асосида ажратиш мажмуалари ҳаётий циклини бошқариш тизими.

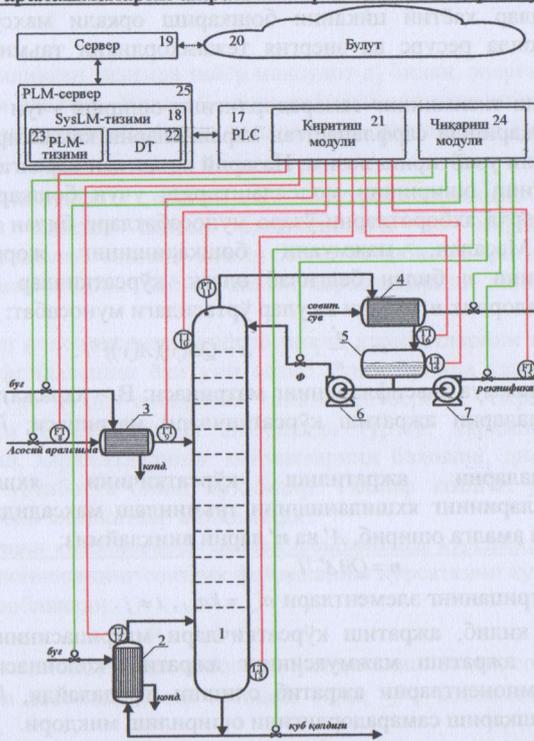
Онлайн диагностика тизими ва диагностика алгоритми асосида ажратишнинг технологик мажмуалари ҳаётий циклини узайтириш имконини берадиган бошқариш тизимини ишлаб чиқиш мумкин (12-расм).

Ишлаб чиқилган бошқариш тизими ажратиш мажмуасининг фаолиятини башоратлаш, ишончлилигини бошқариш билан бир қаторда мажмуанинг ишлаш самарадорлиги ва ажратиш қурилмаларини бошқаришдаги хавф-хатарларни эътиборга олган ҳолда мажмуа ҳаётий циклини узайтириш имконини беради.



12-расм. Диагностика алгоритми асосида ажратиш мажмуалари хаётий циклини узайтиришга хизмат қилувчи бошқариш тизимининг тузилиши.

Ажратиш қурилмасининг хаётий циклини узайтириш билан кўп компонентли аралашмаларни ажратиш жараёнини бошқариш усули.



13-расм. Ажратиш қурилмасининг хаётий циклини узайтириш ва ажратиш жараёнини бошқариш усулини амалга оширишнинг функционал схемаси: 1 – ажратиш колоннаси; 2 – қайнаткич; 3 – иссиқлик алмашинуш қурилмаси; 4 – дефлегматор; 5 – конденсатор; 6,7- насослар; FT8, FT15 – сарф датчиклари; TT9, TT10, TT12, TT 16 – ҳарорат датчиклари; PT11 – босим датчиги; LT13, LT14 – сатҳ датчиклари; 17 – PLC (дастурланадиган мантикий контроллер); 18 – SysLM-тизими (системалар хаётий циклини бошқариш тизими); 19 – сервер; 20 – булут; 21 – киритиш модули; 22 – DT

(рақамли эгизак), жараённинг рақамли моделидан иборат; 23 – PLM-тизими (маҳсулотлар ҳаётий циклини бошқариш тизими) ажратиш колоннасининг ҳаётий циклини бошқаришга масъул; 24 – чиқариш модули; 25 – PLM-сервер.

Кўп компонентли аралашмаларнинг технологик мажмуалари ҳаётий циклини бошқариш учун таклиф этилган усул мажмуалардаги технологик жараёнларни бошқариш ҳамда мажмуа ҳаётий циклини узайтиришга хизмат қилади. Бошқариш усули анъанавий бошқариш усулларида фарқли равишда PLM-серверга эга. Сервер мажмуани бошқариш системасининг ҳаётий циклини бошқаришни таъминловчи SysLM-тизими билан ўзаро боғлиқликда ташкил этилган. Системалар ҳаётини бошқариш тизими, ўз навбатида, мажмуадаги қурилмаларнинг ҳаётий циклини бошқарувчи PLM-тизим ва рақамли эгизак DT билан ажралмас қисми ташкил этади. Ҳаётий циклини бошқаришнинг ушбу усули бир вақтнинг ўзида ҳам бошқариш системалари ҳам қурилмалар ҳаётий циклини бошқариш орқали маҳсулот сифатини яхшилаган ҳолда ресурс ва энергия тежамкорликни таъминлашга хизмат қилади.

Бошқариш тизимининг самарадорлигини ошириш учун мажмуа ҳаётий циклини бошқаришда сарфланаётган харажатларни камайтириш ва мажмуа ҳаётий циклини узайтириш лозим. Назарий жиҳатдан қаралганда, бошқариш самарадорлигини оширишни моделлаштириш учун бошқариш тизимидан олинган барча ахборотларни ўзаро муносабатлари билан биргаликда акс эттирамиз. Масалан, мажмуани бошқаришнинг жорий ҳолатдаги самарадорлигини  $n$  билан белгилаб олсак, кўрсаткичлар яхшилангандан кейинги самарадорлик  $n'$  бўлади ва улар ўртасидаги муносабат:

$$m = \frac{n'}{n}, \quad n = QB(y)(A(y))^{-1}I, \quad (16)$$

бу ерда  $Q$  – мажмуа тавсифларининг матричаси;  $B$  – харажатлар матричаси;  $A$  – аралашмаларни ажратиш кўрсаткичлари матричаси;  $I$  – маҳсулотга бўлган талаб.

Аралашмаларни ажратилиш кўрсаткичини яхшилаш, яъни концентрацияларининг яхшиланишини таъминлаш мақсадида  $A$  матрицада ўзгартиришни амалга ошириб,  $A'$  ва  $n'$  ларни аниқлаймиз:

$$n = QA'^{-1}I, \quad (17)$$

бу ерда  $A'$  матрицанинг элементлари  $a'_{i,j} = ka_{i,j}$ ,  $i \neq j$ .

Шундай қилиб, ажратиш кўрсаткичлари матричасининг ихтиёрий  $a_j$  устуни ўзида ажратиш мажмуасининг ажратиш колоннасидан иссиқлик таъсирида компонентларни ажратиб олишни ифодалайди,  $k$  эса ажратиш жараёнини бошқариш самарадорлигини оширилиш миқдори.

Келтирилганларга асосланиб,  $A$  матрицани ёзамиз:

$$A = \begin{pmatrix} \frac{c_1}{c_1} = 1 & -\frac{x_{1,2}}{c_2} = a_{1,2} & \dots \\ -\frac{x_{2,1}}{c_1} = a_{2,1} & \frac{c_2}{c_2} = 1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & a_{1,2} & \dots \\ a_{2,1} & 1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}, \quad (18)$$

бу ерда  $c$  – ажратиб олинаётган компонент хоссаларини;  $j$  – ажратиш жараёни қайси курилмада кечаётганлигини англатувчи сон;  $x_{i,j}$  – сарфланаётган энергия миқдорини;  $a_{j=1}$  ва  $a_{j=2}$  – ажратиш мажмуасидаги ажратиш курилмаларини англатади.

Бошқариш самарадорлигини ошириш мақсадида баъзи кўрсаткичларни ўзгартиргандан сўнг ҳосил бўладиган самарадорликни англатувчи  $A'$  матрицани ҳосил қилиш учун  $A$  матрицанинг  $a_{j=1}$  ва  $a_{j=2}$  устунларидаги нодиагонал элементларини самарадорликни ошириш коэффициентига кўпайтирамиз:

$$A' = \begin{pmatrix} \frac{c'_1}{c_1} = 1 & -\frac{x'_{1,2}}{q'_2} = ka_{1,2} & \dots \\ -\frac{x'_{2,1}}{c'_1} = ka_{2,1} & \frac{c'_2}{c_2} = 1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & ka_{1,2} & \dots \\ ka_{2,1} & 1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}. \quad (19)$$

Ҳосил қилинган тизимда тайёр маҳсулот  $c'_j$  билан, энергия сарфи эса  $x'_{i,j}$  билан тақдим этилган. Унда  $x'_{i,j}$  нинг қиймати олдинги қийматига нисбатан шунчаки мутаносиб эмас, балки самаралироқ эканлигини англатади, чунки:  $x'_{i,j} = ka_{i,j} c'_j$ .

Диссертациянинг «Ажратиш жараёнларининг технологик мажмуалари ҳаётий цикли давомийлиги ва нархини аниқлаш услубиятини ишлаб чиқиш» номли бешинчи бобида ажратиш колоннаси ва технологик мажмуанинг ҳаётий цикли харажатларини аниқлаш услубияти баён этилган.

Ажратиш колоннасининг ҳаётий цикли харажатларини аниқлаш мазкур колоннадан фойдаланиш ёки уни сотиб олиш бўйича қарор қабул қилиш босқичида жуда муҳим ахборотни таъминлаб беради. Ажратиш колоннаси ҳаётий цикли харажатларини аниқлашда тўртта: харажатлар таркибини таҳлил қилиш, харажатларнинг қийматларини баҳолаш, дисконтлаш ҳамда инфляцияни эътиборга олиш муҳимдир. Таклиф этилган услубиятга кўра куйидаги асосий харажатлар аниқланади:

1. Ажратиш колоннасида йиллик фойдаланиш кўрсаткичини ҳисоблаш.

Ажратиш колоннасининг соатлик фойдаланиш кўрсаткичи куйидаги формула ёрдамида ҳисобланади:

$$\Phi_c = c \cdot l \cdot f, \quad (20)$$

бу ерда  $\Phi_c$  – колоннадан йил давомида фойдаланиш вақти, соат;  $c$  – сменалар сони;  $l$  – йил давомидаги иш кунлари сони;  $f$  – колоннадан фойдаланиш даражаси, %.

2. Колоннани таъмирлаш ва фойдаланиш харажатларини аниқлаш босқичи. Ажратиш колонналари ҳар доим ҳам таъмирланмаслигини эътиборга олган ҳолда фойдаланишнинг  $i$ -ойдаги фойдаланиш ва таъмирлаш харажатлари куйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$X_i = \frac{T_k \beta_0 \left(\frac{i}{12}\right) \beta_1 \Phi_c \beta_2}{12}, \quad (21)$$

бу ерда  $i$  – колоннадан фойдаланиш ойи;  $X_i$  –  $i$ -ойдаги фойдаланиш ва таъмирлаш харажатлари;  $T_k$  – колоннанинг таннархи;  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  – фойдаланиш ва таъмирлаш харажатларига таъсир этувчи коэффициентлар;  $\Phi_c$  – йил давомида колоннадан фойдаланиш вақти, соат.

Инфляция таъсирлар эътиборга олинса, қуйидаги формулани ёзишимиз мумкин:

$$X_{(i)} = X_i(1 + I_i)^{\frac{i}{12}}, \quad (22)$$

бу ерда  $X_{(i)}$  – инфляция таъсирида колоннадан фойдаланиш ва таъмирлаш харажатлари;  $I_i$  – инфляция коэффициенти.

Янги колонна сотиб олингандан то  $i$ -ойгача фойдаланишдаги инфляцияни ҳисобга олиб, колонна таннархини қуйидагича аниқлаймиз:

$$T_{k(i)} = (T_k - \Phi_k(i))(1 + I_k)^{\frac{i}{12}}, \quad (23)$$

бу ерда  $T_{k(i)}$  – инфляцияни эътиборга олган ҳолда янги колонна сотиб олиш харажати;  $I_k$  – инфляция коэффициенти эътиборга олинган колонна нархи;  $\Phi_k(i)$  – эскирган колоннанинг ёшига боғлиқ қиймати.

3. Ажратиш колоннасини ишлаб чиқаришга жорий этишни қоплаш муддатини аниқлаш. Ушбу босқичда оптимал қоплаш муддати  $Q_{opt}$  аниқланади. Ишлаб чиқаришга янги ажратиш колоннасини олингач, таъмирлаш ва ишлатиш харажатлари камаяди. Унинг натижасида олинган фойда қуйидагича аниқланади:

$$Z_{i,j} = X_{i,j} - X_i, \quad (24)$$

бу ерда  $Z_{i,j}$  – янги колоннадан фойдаланиш натижасида олинган фойда.

Қопланиш муддати қуйидагича аниқланади:

$$Q_j = \min \{j : ZC_{i,j} \geq T_k - \Phi(j)\}, \quad (25)$$

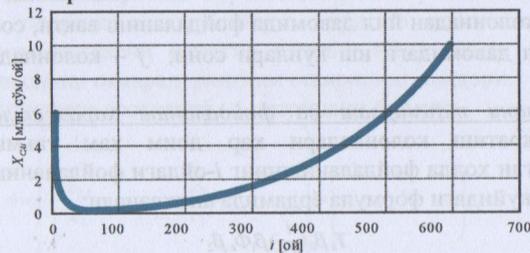
бу ерда  $Q_j$  – янги колоннанинг қопланиш муддати.

Қопланиш муддати асосида колоннанинг оптимал иш даврини аниқлаймиз:

$$t_{c_{opt}} = \min \{j : Q_j = Q_{opt}\}, \quad (26)$$

бу ерда  $t_{c_{opt}}$  – колонна ҳаётий циклининг оптимал иш вақти (давомийлиги).

Ажратиш колоннасининг ҳаётий циклидаги харажатларнинг ўзгариш графикларини келтираемиз.



14-расм. Колонна иш циклидаги ўртача харажатлар графиги.



15-расм. Ажратиш колоннасининг ҳаётий цикли давомидаги сотиб олиш, ишлатиш, фойдаланиш ва таъмирлаш харажатларининг графиклари.



16-расм. Ажратиш колоннасини жорий этишга сарфланган харажатларни қоплаш ва хизмат кўрсатиш муддатларини аниқлаш графиги.

Келтирилган формулалардан фойдаланиб, кимё, нефткимё ва озик-овақат саноатининг ўхшаш колонна ва қурилмаларининг ҳаётий цикли давомидаги харажатлари ва цикли давомийлигини аниқлашни амалга ошириш мумкин.

### ХУЛОСА

Кўп компонентли аралашмаларни ажратишнинг технологик мажмуалари ҳаётий циклини интеллектуал бошқаришни тадқиқ қилиш натижасида қуйидаги илмий натижалар олинган:

1. Кўп компонентли аралашмаларни ажратиш мажмуалари ҳаётий циклини бошқариш назарияси ва амалиётининг замонавий ҳолати таҳлил қилинган. Натижада ҳаётий цикли бошқаришнинг келгусида ривожланиш ва такомиллаштириш тенденциялари аниқланган.

2. Вазиятли бошқаришнинг ноаниқ модели асосида кўп компонентли аралашмаларни ажратиш жараёнини интеллектуал бошқариш усули ишлаб чиқилган бўлиб, у ажратишнинг технологик жараёнлари ва уларни бошқаришнинг интеллектуал тизимларини самарали ташкил этиш ҳамда

энергия сарфини камайтириш имконини беради.

3. Маҳсулотлар ва системалар ҳаётий циклини бошқариш концепциялари асосида ажратиш жараёнини бошқариш усули ишлаб чиқилган бўлиб, у ажратиш жараёнининг қурилмалари ҳаётий циклини узайтириш ва техник хизмат кўрсатиш, таъмирлаш ва фойдаланиш харажатларини камайтириш имконини беради.

4. Маълумотларни ноаниқ кластерлаш асосида ажратишнинг технологик мажмуалари ҳаётий циклини оптимал лойиҳалаш алгоритми ишлаб чиқилган бўлиб, мазкур алгоритм лойиҳалаш вақтини қисқартириш ҳамда лойиҳалаш самарадорлигини оширишни таъминлайди.

5. «Саноат 4.0» концепцияси технологияларидан фойдаланиб, кўп компонентли аралашмаларни ажратишнинг технологик мажмуалари ҳаётий циклини бошқаришнинг интеллектуал тизимини архитектураси ишлаб чиқилган. Архитектура мажмуаларнинг ҳаётий циклини барча босқичларида мажмуалар ва бошқариш тизимларидаги ўзгаришлар ва такомиллашувларни ўзида қайд этиш орқали бошқариш тизимларини мослашувчанлигини ошириш имконини беради.

6. Онлайн диагностика алгоритми асосида ажратишни технологик мажмуалари ҳаётий циклини бошқаришни интеллектуал тизими ишлаб чиқилган. Бошқаришнинг ушбу интеллектуал тизими ажратишнинг технологик мажмуалари ҳаётий циклини бошқариш самарадорлигини ошириш ва энергия сарфини камайтириш имконини беради.

7. Ҳолат кузатувчилари асосида мажмуалар ҳолатларини реал вақт бўйича ташхисловчи онлайн диагностика алгоритми ишлаб чиқилган. Мазкур алгоритм мажмуаларни таъмирлаш ва уларга хизмат кўрсатиш муддатларини белгилаш орқали мажмуа ҳаётий циклини бошқариш имконини беради.

8. Технологик жараёнларни бошқариш назарияси такомиллаштирилган бўлиб, бу ўз навбатида мажмуалар ҳаётий циклини кўриб чиқиш масалаларини самарали ечиш имкониятларини кенгайтириш ва технологик жараёнларни бошқаришнинг интеллектуал тизимларини тузишнинг янги усулларини ишлаб чиқиш имконини беради.

9. Мажмуалар ҳаётий циклини бошқаришда ноаниқликларни эътиборга олган ҳолда маҳсулот сифатини ошириш ва энергия сарфини камайтириш мезонларига кўра мажмуаларни бошқариш самарадорлиги баҳоланган. Мазкур баҳолардан фойдаланиш ҳаётий циклини бошқаришда энергия ва ресурстежамкорликни таъминлаш бўйича масалаларни ечиш имконини беради.

10. Кўп компонентли аралашмаларни ажратиш жараёнининг технологик мажмуалари ҳаётий цикллари давомийлиги ва нархини аниқлаш услубияти таклиф этилган. Мазкур услубият мажмуалар ҳаётий цикли давомидаги харажатларни баҳолаш ва мажмуа фаолияти ҳақида қарор қабул қилиш имконини беради.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.Т.03.02  
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ  
ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ  
УНИВЕРСИТЕТЕ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**АВАЗОВ ЮСУФ ШОДИЕВИЧ**

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМИ ЦИКЛАМИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ РАЗДЕЛЕНИЯ  
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЕЙ**

**05.01.08 – Автоматизация и управление технологическими процессами  
и производствами**

**АВТОРЕФЕРАТ ДОКТОРСКОЙ (DSc) ДИССЕРТАЦИИ  
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Ташкент – 2022**



## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора наук (DSc))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире в последнее время особое внимание уделяется системам управления жизненными циклами продукции (Product Lifecycle Management – PLM) и управления жизненными циклами системы (System Lifecycle Management – SysLM) с целью управления процессами от производства продукции до ее доставки потребителю с помощью автоматизированных информационных систем. В этом направлении определенные успехи достигнуты в ведущих странах мира, где разрабатываются и совершенствуются новые методы управления, в том числе алгоритмы и системы управления для повышения качества выпускаемой продукции. Однако при управлении жизненным циклом сложных технологических комплексов имеет место огромная трата ресурсов и энергии. В связи с этим важное значение приобретает разработка интеллектуальных методов и систем управления жизненным циклом комплексов, снижающих ресурсо- и энергоемкость.

В мире ведутся исследования по повышению качества управления технологическими процессами разделения сложных смесей. По этой причине актуальным является решение проблемы разработки и усовершенствования системы интеллектуального управления жизненными циклами технологических комплексов. В связи с этим в настоящее время особое внимание уделяется исследованиям по созданию интеллектуальных систем управления, обеспечивающих показатели качества продукции и энергоэффективности, разработке нечетких моделей и алгоритмов ситуационного управления на основе методов нечеткой логики для управления разделительными процессами и аппаратами, разработке интеллектуальных систем управления жизненным циклом технологических комплексов разделения.

В республике большое внимание уделяется автоматизации и управлению технологическими процессами и производствами, в том числе созданию интеллектуальных методов и систем управления, обеспечивающих энерго- и ресурсосбережение при автоматизации и управлении технологическими процессами разделения смесей. В Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы определены задачи «... снижения потерь в отраслях промышленности и повышения эффективности использования ресурсов, внедрения современных энергосберегающих технологий, ... финансирования проектов по повышению энергоэффективности»<sup>1</sup>. Для выполнения этих задач важным является синтез и внедрение высокоэффективных методов и интеллектуальных систем управления жизненным циклом технологических комплексов разделения многокомпонентных смесей на основе концепций управления жизненным циклом изделий и систем.

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022г. №УП-60 «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы»

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит для реализации задач, предусмотренных постановлениями Президента Республики Узбекистан №ПП-3682 от 27 апреля 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов», №ПП-4996 от 17 февраля 2021 года «О мерах по созданию условий для ускоренного внедрения технологий искусственного интеллекта» и утвержденная Постановлением Президента №ПП-4388 от 9 июля 2019 года «О мерах по стабильному обеспечению экономики и населения энергоресурсами, финансовому оздоровлению и совершенствованию системы управления нефтегазовой отрасли» «Концепция развития нефтегазовой отрасли Республики Узбекистан до 2030 года», а также другими нормативно-правовыми документами, принятыми в данной сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики III. «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий» и VI. «Химические технологии, нефтехимия и нанотехнологии».

#### **Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации<sup>2</sup>.**

В ведущих научных центрах и высших образовательных учреждениях мира проводятся научные исследования, направленные на разработку высокопроизводительных систем автоматизации и управления сложными технологическими процессами, управление жизненным циклом изделий и систем, в том числе, в “Honeywell”, SIMSCI-Simulation и University of California, Massachusetts Institute of Technology, University of Michigan (США), “Siemens” и Universität in Münster (Германия), Imperial College London (Великобритания), Shell Global Solution (Великобритания-Голландия), University of Chemical Technology in Prague (Чехия), Osaka University и Tokyo Institute of Technology (Япония), Korea Advanced Institute of Science and Technology (Южная Корея), “MAWEA INDUSTRIES Enabling Digitilazition” (Малайзия), “Alstom” (Франция), “Simatek-Energo” (Беларусь), МГТУ имени Н.Э.Баумана (Россия).

В результате исследований, проведенных в мире по созданию интеллектуальных систем, алгоритмов и методов управления технологическими процессами и комплексами, а также по совершенствованию систем управления, получен ряд результатов, в том числе созданы методы, алгоритмы и системы интеллектуального управления технологическими процессами и объектами в условиях неопределенности параметров в (Massachusetts Institute of Technology, University of Michigan

<sup>2</sup> Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации составлен на основании <https://www.honeywell.com/us/en>, <https://www.aveva.com/en/support-and-success/support-contact/simsci/>, <https://www.universityofcalifornia.edu>, <https://www.mit.edu/>, <https://umich.edu/>, <https://www.siemens.com/global/en.html>, <https://www.uni-muenster.de/en/>, <https://www.imperial.ac.uk/>, <https://www.shell.com/>, <https://www.vscht.cz/?jazyk=en>, <https://www.osaka-u.ac.jp/en/>, <https://www.titech.ac.jp/english/>, <https://www.kaist.ac.kr/en/>, <https://mawea.com.my/>, <https://www.alstom.com/>, <https://energyexpo.by/catalog/2021/2213/>, <https://bmstu.ru/> и других источников.

(США), University of Münster (Германия), Imperial College London (Великобритания)); разработаны модели ситуационного управления на основе нечеткой логики (University of Chemical Technology in Prague (Чехия), Osaka University и Tokyo Institute of Technology (Япония)); разработаны интеллектуальные системы управления и алгоритмы на основе нейро-нечетких регуляторов и контроллеров (Korea Advanced Institute of Science and Technology (Южная Корея), "MAWEA INDUSTRIES Enabling Digitilazition" (Малайзия)); на основе концепций управления жизненным циклом продукции и систем разработаны методы управления жизненным циклом продукции и объектов (Massachusetts Institute of Technology, Университет Мичигана (США), University of Münster (Олмония)); разработаны методы использования когнитивных знаний при моделировании жизненного цикла предприятий и аппаратов (Imperial College London (Великобритания), Massachusetts Institute of Technology (США), Московский государственный технический университет имени Баумана (Россия)).

В мире с использованием концепции управления жизненным циклом продукции ведутся научно-исследовательские работы по ряду приоритетных направлений по разработке инструментов создания систем управления жизненным циклом сложных технологических объектов и технических систем, включая диагностику этапов жизненного цикла предприятий, на основе элементов парадигмы «Индустрия 4.0», создание интеллектуальных производственных предприятий и оценка их жизненного цикла, разработке алгоритмов и методов интеллектуального управления, обеспечивающих непрерывность жизненного цикла сложных технологических объектов и аппаратов.

**Степень изученности проблемы.** Вопросам исследования теоретических и практических задач по разработке концепций управления жизненным циклом сложных технологических процессов, изделий и систем в промышленном производстве посвящены работы ряда зарубежных ученых: Martin Eigner<sup>3,9</sup>, Anselmi Immonen<sup>6</sup>, Abir Ismaili-Alaoui<sup>4</sup>, Michael Riesener<sup>5</sup>, Antti Saaksvuori<sup>6</sup>, Spreafico Christian<sup>7</sup>, John Stark<sup>8</sup>, Ralf Stelzer<sup>9</sup>, Thiebat Francesca<sup>10</sup>, Shiqi Wang<sup>11</sup>, Stefan Wiesner<sup>12</sup>, И.Т.Давиденко<sup>13</sup>, К.Д.Жук<sup>14</sup>,

<sup>3</sup> Martin Eigner. System Lifecycle Management. Engineering Digitalization (Engineering 4.0). Monograph. –Germany "Consultant Baden-Baden, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, part of Springer Nature", 2021. 275p.

<sup>4</sup> Abir Ismaili-Alaoui, Karim Baina, Khalid Benali. (2022). IoDEP: Towards an IoT-Data Analysis and Event Processing Architecture for Business Process Incident Management. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 13(4). -pp. 900-915.

<sup>5</sup> Riesener M., Schuh, G., Dolle, C., Tonnesa, C. (2019). The digital shadow as enabler for data analytics in product life cycle management. Procedia CIRP, 80, 729-734.

<sup>6</sup> Antti Saaksvuori, Anselmi Immonen. Product Lifecycle Management. Monograph. Third Edition. - Heidelberg (Berlin) "Springer-Verlag". 2008. 270p.

<sup>7</sup> Spreafico C. An analysis of design strategies for circular economy through life cycle assessment. Environ Monit Assess 194, 180 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09803-1>

<sup>8</sup> John Stark. Product Lifecycle Management (Volume 3): The Executive Summary. -Geneva (Switzerland): Springer International Publishing AG, 2018. – 137p.

<sup>9</sup> Ralph Stelzer, Martin Eigner. Product Lifecycle Management. -Springer Berlin, Heidelberg, 2009. 434p.

<sup>10</sup> Thiebat F. Life Cycle and Sustainability: Concepts and Keywords. In: Life Cycle Design. PoliTO Springer Series. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-11497-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-11497-8_1)

<sup>11</sup> Shiqi Wang. Application of Product Life Cycle Management Method in Furniture Modular Design. Mathematical Problems in Engineering, 2022. Article ID 7192152, 10 p. <https://doi.org/10.1155/2022/7192152>

А.А.Радионова<sup>14</sup>, В.Б.Тарасова<sup>15</sup>, А.А.Тимченко<sup>14</sup>, А.В.Федотова<sup>16</sup> и др., а также отечественных ученых А.А.Абдукадирова<sup>17</sup>, Ф.Т.Адилова<sup>18</sup>, Ш.М.Гулямова<sup>19</sup>, А.И.Иваньян<sup>20</sup>, Н.Р.Юсупбекова<sup>21</sup> и др.

Со стороны вышеупомянутых ученых велись исследования посвященные проблемам управления жизненным циклом продукции, цифровизации, проектирования, оценки жизненного цикла, разработке интеллектуальных систем управления газоперерабатывающими комплексами, облачных технологий для систем управления, алгоритмов и систем управления жизненным циклом химико-технологических систем.

Наряду с этим, несмотря на имеющиеся достижения в области исследований по рассматриваемым вопросам и значительные результаты, достигнутые в области методов управления жизненным циклом изделий и систем, в настоящее время в недостаточной степени разработаны методы и системы интеллектуального управления жизненным циклом сложных технологических комплексов.

**Связь темы диссертации с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках научно-исследовательских проектов Ташкентского государственного технического университета: Ф-7-47 – «Теоретические основы процессов разделения многокомпонентных смесей» (2012–2016); ОТ-Ф7-88 – «Совершенствование теоретических основ перспективных энерго- и ресурсосберегающих тепломассообменных процессов сложных химико-технологических систем получения чистых продуктов» (2017–2020) и программы «Совершенствование теории создания энерго- и ресурсосберегающих киберфизических инновационных систем оптимизации технологий глубокой переработки нефти и газа на основе стратегии тотальной цифровизации «Индустрия 4.0» (2021–2024).

**Цель исследования** состоит в совершенствовании теории рассмотрения жизненных циклов технологического комплекса, а также в разработке

<sup>12</sup> Stefan Wiesner, Mike Freitag, Ingo Westphal, Klaus-Dieter Thoben. (2015). Interactions between Service and Product Lifecycle Management. *Procedia CIRP*, 30, -pp.36-41.

<sup>13</sup> Давыденко И.Т., Федотова А.В. Онтологическое моделирование технического обслуживания // *Материалы V междунар. науч.-техн. конф.* Минск, 19-21 февраля 2015 года. – Минск: БГУИР, 2015. –С.429-438

<sup>14</sup> Жук К.Д., Тимченко А.А., Радионов А.А. Построение современных систем автоматизированного проектирования. - Киев, Наука, 1983. -248с

<sup>15</sup> Тарасов В.Б. Новые стратегии реорганизации и автоматизации предприятий: на пути к интеллектуальным предприятиям // *Новости искусственного интеллекта*, 1996, №4. –С.40-84

<sup>16</sup> Федотова А.В. Системы управления жизненным циклом продукции нового поколения, основанные на знаниях // *Электронный научный технический журнал "Инженерный вестник МГТУ"*, 2016. -№11 ISSN: 2307-0595. –С.531-539.

<sup>17</sup> Абдукадиров А.А. и др. Алгоритмы и системы управления жизненным циклом химико-технологической системы // *Материалы XVI Международной научно-практической конференции «Наука и техника: шаг в будущее».* –Прага (Чехия), 22-29 февраля 2020 г. - Том 13. –С.60-62.

<sup>18</sup> Farukh Adilov et al. Application of Digital Twin Theory for Improvement of Natural Gas Treatment Unit // *11th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perceptions and Artificial Intelligence - ICSCCW-2021.* Springer Nature Switzerland AG, 2022. -PP. 1-8.

<sup>19</sup> Gulyamov Sh. Et al. Exploring of the Problematic Industry 4.0 and Platform-Based Economic Development // *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2022, 362 LNNS, pp. 412-419

<sup>20</sup> Ivanyan A. et al. Design of Distributed Architecture of Refinery Complexes Control Systems by "Al Zour Refinery" Example // *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2022, 439 LNNS, pp. 587-593.

<sup>21</sup> Yusupbekov N.R. et al. The Possibilities of Using Cloud Computing for Applications of Industrial Automation // *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021, 1323 AISC, pp. 246-253.

системы и способов управления жизненными циклами технологических процессов на примере разделения многокомпонентных смесей.

**Задачи исследования:**

анализ жизненного цикла вновь проектируемых и планируемых реконструкций технологических комплексов;

разработка методики определения длительности и стоимости жизненных циклов технологических комплексов процесса разделения многокомпонентных смесей;

сокращение сроков проектирования аппаратов разделительного комплекса и разработка оптимального алгоритма проектирования жизненного цикла комплексов;

разработка интеллектуальной системы управления, позволяющей повысить эффективность управления жизненным циклом разделительных технологических комплексов и снизить энергозатраты;

разработка системы управления, позволяющей продлить жизненный цикл разделительных комплексов;

разработка интеллектуального способа управления, позволяющего улучшить управление процессом разделения;

разработка способа управления, позволяющего продлить жизненный цикл комплексов процесса разделения многокомпонентных смесей.

**Объектом исследования** являются технологические комплексы разделения многокомпонентных смесей и их жизненные циклы.

**Предмет исследования** составляют методы и алгоритмы управления жизненным циклом сложных технологических процессов и комплексов.

**Методы исследований.** В процессе исследования использовались методы системного анализа, современной теории автоматического управления, методы нечеткой логики, теории искусственного интеллекта, аналитических расчетов, моделирования и оптимизации технологических процессов и производств.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

усовершенствована теория и разработан алгоритм оптимального проектирования жизненного цикла комплексов технологических процессов на основе метода интеллектуального анализа данных, обеспечивающих сокращение сроков проектирования;

разработана система управления и алгоритм он-лайн диагностики на основе наблюдателей состояний, позволяющая продлить жизненные циклы технологических комплексов процесса разделения многокомпонентных смесей;

усовершенствована теория и разработана интеллектуальная система управления технологическим процессом, позволяющая повысить эффективность управления жизненным циклом технологических комплексов разделения многокомпонентных смесей и снизить энергозатраты;

разработан способ управления процессом разделения на основе управления жизненным циклом системы, позволяющий продлить жизненные

циклы аппаратов процесса разделения многокомпонентных смесей;  
разработан способ интеллектуального управления процессом разделения многокомпонентных смесей на основе нечеткой модели ситуационного управления, позволяющий повысить качество продукта и улучшить управление процессом разделения;

предложена методика определения продолжительности циклов и стоимости жизненного цикла технологических комплексов разделения на основе расчета затрат для каждого этапа жизненного цикла, позволяющая оценить общую стоимость жизненного цикла комплекса.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработана функциональная схема, описывающая реализацию метода интеллектуального управления процессами разделения многокомпонентных смесей;

разработан метод управления процессом разделения, позволяющий продлить жизненный цикл аппаратов процесса разделения;

разработан оптимальный алгоритм проектирования жизненного цикла технологических комплексов разделения;

разработан алгоритм он-лайн диагностики, служащий для продления жизненного цикла разделительных комплексов.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность результатов исследований подтверждается положительными результатами опытно-промышленных испытаний и алгоритмами нечеткой логики и ситуационного управления, в разработке метода интеллектуального управления процессами разделения многокомпонентных смесей и метода управления, продлевающего жизненный цикл разделительных аппаратов на основе управления жизненным циклом систем. А также подтверждается взаимодействием результатов теоретических и экспериментальных исследований с использованием современных методов и средств.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследований объясняется совершенствованием теории определения жизненного цикла, метода и способа интеллектуального управления технологическими процессами разделения и способа управления, позволяющими продлить жизненный цикл аппаратов.

Практическая значимость результатов исследований заключается в разработке способа интеллектуального управления технологическими процессами разделения многокомпонентных смесей и способа управления, позволяющего повысить качество управления и продлить срок службы комплексов, в применении интеллектуальной системы управления, оптимизации ресурсов, проектирования циклов и алгоритмов онлайн диагностики в управлении жизненным циклом разделительных комплексов в нефтехимической и нефтегазоперерабатывающей отраслях, позволяющих снизить энерго- и ресурсоемкость на 3-4%.

**Внедрение результатов исследования.** На основании полученных научных результатов по интеллектуальному управлению жизненным циклом

технологических комплексов:

способы интеллектуального управления процессами разделения многокомпонентных смесей внедрены на ООО «Ферганский нефетеперерабатывающий завод» (Справка АО «O'ZLITINEFTGAZ» №35/2771 от 17 октября 2022 года). В результате способы позволили повысить качество управления процессом разделения и продлить срок службы аппаратов;

алгоритм оптимального проектирования жизненного цикла комплексов технологических процессов на основе метода интеллектуального анализа данных внедрен на ООО «Ферганский нефетеперерабатывающий завод» (Справка АО «O'ZLITINEFTGAZ» №35/2771 от 17 октября 2022 года). В результате алгоритм позволил сократить сроки проектирования разделительных технологических комплексов;

интеллектуальная система управления технологическим комплексом разделения многокомпонентных смесей внедрена на ООО «Ферганский нефетеперерабатывающий завод» (Справка АО «O'ZLITINEFTGAZ» №35/2771 от 17 октября 2022 года). Результаты научных исследований позволили повысить эффективность управления жизненным циклом разделительных технологических комплексов и снизить энергозатраты на 3%.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования апробированы на 8 международных и 1 республиканской научных конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме исследования опубликовано 25 научных работ, в том числе 12 статей в журналах, рекомендованных ВАК РУз., из них 4 - за рубежом, получены 1 патент и одно положительное решение на изобретения, 2 свидетельства о регистрации программных продуктов для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 192 страницы.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обосновываются актуальность и востребованность проведенного исследования, его цель и задачи, характеризуются объект и предмет, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, представлен обзор зарубежных научных исследований по теме исследования и уровень изученности проблемы, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, приведены сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации под названием «**Современное состояние интеллектуального управления жизненным циклом комплексов**

разделения многокомпонентных смесей» критически анализируется современное состояние обозначенной научно-технической проблемы. Проанализированы вопросы моделирования и оптимизации процессов разделения. Обоснована разработка методов и систем управления жизненным циклом разделительных комплексов, повышения качества продукции и снижения энергопотребления. Показана возможность построения методов и систем управления жизненным циклом разделительных комплексов на основе концепций управления жизненным циклом продукции и управления жизненным циклом систем. Выявлены тенденции развития концепций управления жизненным циклом.

Во второй главе диссертации, озаглавленной «Проектирование жизненного цикла технологических комплексов процессов разделения многокомпонентных смесей» изложены методы проектирования комплексов разделения многокомпонентных смесей. Разработаны структура проектирования жизненного цикла комплекса разделения многокомпонентных смесей и алгоритм выбора наиболее оптимального проекта.

Разработку проектов технологических комплексов можно представить в виде структурной схемы (рис. 1): заказчик, требования заказчика к проекту технологических комплексов, проектировщик, база знаний, блок принятия решений и варианты проектов, подготовленные для технологических комплексов.



Рис. 1. Структура разработки проекта технологических комплексов.

Заказчик формулирует основные требования, такие как стоимость проекта, его преимущества и сроки реализации проекта и определяет к ним ограничения. Требования заказчика к проекту технологических комплексов разрабатываются заказчиком и предоставляются проектировщику. Задача проектировщика: определить дизайн проекта и последовательность его реализации, используя базу знаний, блоки принятия решений, анализируя требования заказчика. База знаний включает в себя различные знания о технологических процессах и аппаратах, их стандартизированные геометрические представления. Варианты готовых проектов предоставляются заказчику. Блок принятия решений оснащен технологиями

искусственного интеллекта, в этот блок включен алгоритм выбора оптимального варианта разрабатываемых проектов (рис. 2).

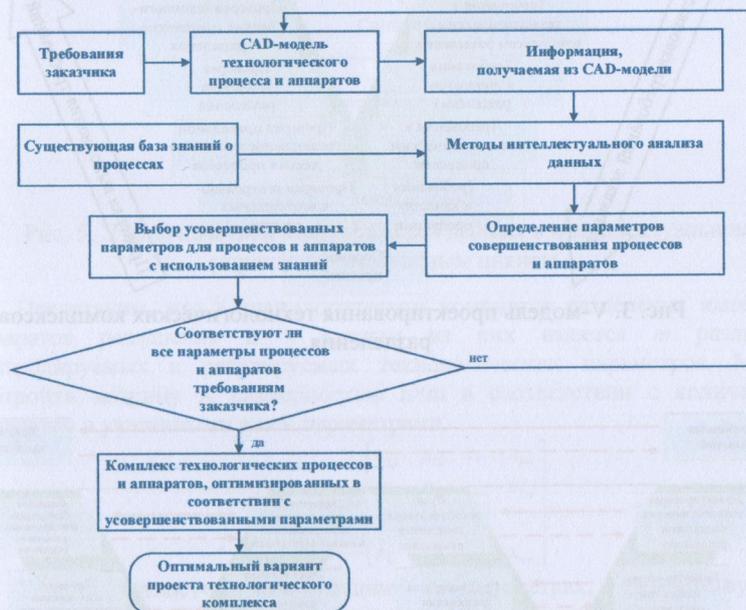


Рис. 2. Алгоритм выбора наиболее оптимального проекта технологических комплексов.

Данные в компьютерном проектировании технологического процесса анализируются на основе методов интеллектуального анализа, а также соотносятся с данными базы знаний о процессе. Такой анализ позволяет максимально минимизировать ошибки.

**V-модель системного проектирования.** Существует несколько моделей системного проектирования, из которых наиболее простой по структуре и наиболее информативной для исследователя является традиционная V-модель. Левая часть V-модели сверху вниз представляет собой представленную в виде модульной иерархии заданных заказчиком требований к проектированию технологических комплексов разделения многокомпонентных смесей (рис. 3).

**W-модель системного проектирования.** W-модель системного проектирования является результатом комбинированного применения проектирования по требованиям заказчика и V-модели системного проектирования. Однако, в отличие от V-модели, требования представляются в виде каскада, а в W-модели возможно одновременное описание четырех фаз жизненного цикла: проектирование, пуск, эксплуатация и обслуживание вместе с их взаимосвязями (рис. 4).



Рис. 3. V-модель проектирования технологических комплексов разделения.



Рис. 4. W-модель системного проектирования жизненного цикла технологических комплексов разделения.

Преимущество использования W-модели при проектировании жизненного цикла технологических комплексов разделения заключается в том, что в таких моделях реализуется несколько целей. Например, предлагаемая W-модель моделирования жизненного цикла технологических комплексов разделения первичной переработки нефти предусматривает четыре задачи: оптимизация проекта, оптимизация при пуске проекта, оптимизация технологических параметров, оптимизация затрат.

Для обеспечения возможности внесения изменений в проект проводится нечеткая кластеризация данных. Кластеризация данных основана на оценке близости их взаимосвязи друг другом (рис. 5).



Рис. 5. Этапы нечеткой кластеризации данных в интеллектуальном управлении жизненным циклом.

Представим, что в технологическом комплексе разделения имеется  $n$  аппаратов разделения и в каждом из них имеется  $m$  различных контролируемых и регулируемых технологических параметров. Можно построить матрицу  $X$  размерностью  $n \times m$  в соответствии с количеством аппаратов и указанными в ней параметрами:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Теперь согласуем информацию о параметрах, соответствующих каждому аппарату. Для этого используем следующее выражение:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij}}{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( x_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \right)^2}} \quad (i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m). \quad (2)$$

Обозначив минимальное и максимальное значения соответствия как  $\min \{x'_{ij}\} = A$  и  $\max \{x'_{ij}\} = B$ , соответственно, получим следующее выражение корреляционной взаимосвязи:

$$y_{ij} = \frac{x'_{ij} - A}{B - A}, \quad 0 \leq y_{ij} \leq 1. \quad (3)$$

Если выходные параметры, полученные в условиях неопределенности, можно записать в виде  $Y = [y]_{n \times m}$ , то нечеткую матрицу совместности  $\tilde{T}$  запишем в следующем виде:

$$\tilde{T} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1m} \\ t_{21} & t_{22} & \dots & t_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ t_{n1} & t_{n2} & \dots & t_{nm} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где  $t_{ij}$  — указывает на степень соответствия между параметрами  $u_i$  и  $u_j$ .

После согласования данных об аппаратах разделения они передаются соответственно в систему управления. В этом случае также существует

матрица  $\tilde{T}^k$ , которая нечетко эквивалентна полученной матрице и действует как транзитная матрица:

$$t(\tilde{T}) = \tilde{T}^k = \underbrace{\tilde{T} \circ \tilde{T} \circ \dots \circ \tilde{T}}_k, \quad (5)$$

где "o" символ указывает на то, что вместо него при необходимости используются нечеткие процедуры ( $\wedge, \vee$ ).

Учитывая, что конструктивные и технологические параметры разделительных аппаратов отличаются друг от друга, используем модульный подход. При этом, чем выше уровень эксплуатационной надежности  $\lambda$  каждого типа разделительного аппарата (значение  $\lambda$  лежит в пределах от 0 до 1), тем сложнее процесс и большее количество технологических параметров. После разделения комплекса на модули выполняется многокритериальная оптимизация для чего были выбраны следующие ограничения:

$F_K$  – сложность состава комплекса разделения многокомпонентных смесей;  $F_A$  – простота конструкции разделительного аппарата;  $F_{II}$  – сложность процесса разделения;  $F_O$  – простота обслуживания.

В соответствии с жизненным циклом технологического комплекса приведем соответствующие зависимости для каждой стадии жизненного цикла технологического комплекса разделения.

На этапе проектирования модулей разделительных технологических комплексов:

$$F_K = -\frac{1}{r_M} \sum_{i=1}^n [d_i \ln d_i + (1-d_i) \ln(1-d_i)], \quad (6)$$

где  $r_M$  – серийный номер, соответствующий модулю «М» и аппарату в комплексе;  $d_i$  – степень определенности  $i$ -функции на этапе проектирования аппарата.

На этапе эксплуатации разделительных аппаратов в производстве:

$$F_A = -\frac{1}{r_M} \sum_{i=1}^n [f_i \ln f_i + (1-f_i) \ln(1-f_i)], \quad (7)$$

где  $f_i$  – степень определенности  $i$ -функции на этапе эксплуатации.

Для данного процесса, протекающего в аппарате разделения:

$$F_{II} = -\frac{1}{a} \sum_{j=1}^n \frac{n_i(j)}{n} \ln \frac{n_i(j)}{n}, \quad (8)$$

$n_i(j)$  – функция процесса, соответствующая аппарату в  $j$ -модуле.

Если обозначим отказ  $i$ -го модуля, соответствующего каждому аппарату, через  $\eta_i$  в проекте, то для этапа обслуживания отказа запишем следующую зависимость:

$$F_O = -\frac{1}{r_M} \sum_{i=1}^n [\eta_i \ln \eta_i + (1-\eta_i) \ln(1-\eta_i)]. \quad (9)$$

Исходя из вышеприведенных выражений, для оптимизации количества модулей при проектировании жизненного цикла технологических комплексов разделения необходимо добиться минимального значения на

каждом этапе. Решение такой оптимизационной задачи определяется функционалом  $S(Y)$ :

$$S(Y) = \min \{ \tilde{F}_K + \tilde{F}_A + \tilde{F}_П + \tilde{F}_O \}, \quad (10)$$

где  $\tilde{F}_K$ ;  $\tilde{F}_A$ ;  $\tilde{F}_П$  и  $\tilde{F}_O$  – оценки функции ограничений, возлагаемых на комплекс, аппарат, технологический процесс и обслуживание, соответственно.

Эти оценки можно определить по следующим выражениям, соответственно:

$$\tilde{F}_K = \frac{F_K}{\sum_{i=1}^N F_K}, \quad \tilde{F}_A = \frac{F_A}{\sum_{i=1}^N F_A}, \quad \tilde{F}_П = \frac{F_П}{\sum_{i=1}^N F_П}, \quad \tilde{F}_O = \frac{F_O}{\sum_{i=1}^N F_O}. \quad (11)$$

Использование модульного подхода при проектировании жизненного цикла сложных технологических комплексов разделения имеет преимущества, позволяющие избежать повторного проектирования одних и тех же модулей (аппаратов). Кроме того, использование многопараметрической оптимизации при проектировании модулей позволяет предотвратить сильное влияние некоторых параметров на результат оптимизации.

В третьей главе диссертации под названием «Разработка интеллектуальной системы управления жизненным циклом технологических комплексов процесса разделения многокомпонентных смесей» предлагаются интеллектуальные системы управления жизненным циклом технологических комплексов разделения многокомпонентных смесей.

Разработана архитектура PLM-системы управления жизненным циклом технологических процессов разделения нефтяного сырья на первичной переработке (рис.6).

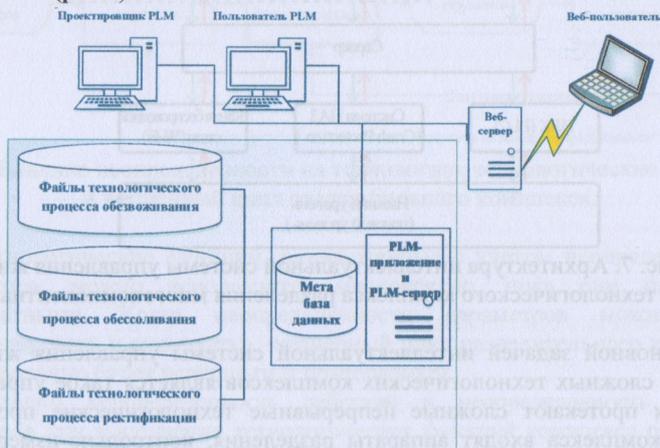


Рис. 6. Архитектура системы управления жизненным циклом технологического комплекса переработки нефтяного сырья.

Использование PLM-приложений позволяет управлять регистрацией, хранением и использованием создаваемых документов, управлять процессами изменения их содержания, а также оповещением пользователей об изменениях, вносимых в процессе работы.

Используя современные достижения информационных технологий и на основе концепции «Индустрия 4.0», построена архитектура интеллектуальной системы управления жизненным циклом технологических комплексов разделения многокомпонентных смесей (рис. 7).

В частности, такие технологии, как цифровое моделирование и беспроводные технологии, компьютерные системы и сети, облачные технологии, управление жизненным циклом продукта – PLM, управление жизненным циклом системы – SysLM, виртуальный двойник – Virtual Twin, Интернет вещей – IoT - обеспечивают интеллектуальное управление жизненным циклом сложных технологических комплексов.

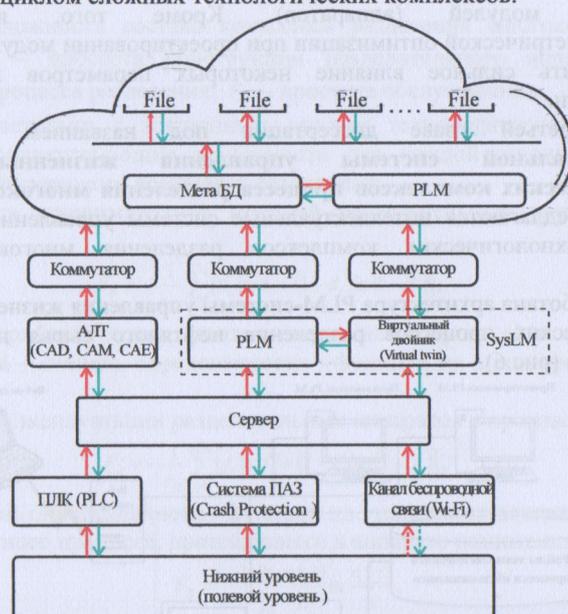


Рис. 7. Архитектура интеллектуальной системы управления жизненным циклом технологического комплекса разделения многокомпонентных смесей.

Основной задачей интеллектуальной системы управления жизненным циклом сложных технологических комплексов является такое управление, в котором протекают сложные непрерывные технологические процессы. В состав комплекса входят аппараты разделения, контрольно-измерительные приборы, исполнительные механизмы и различные современные датчики. Кроме того, в архитектуре имеются устройства беспроводной связи,

участвующие в обмене данными. Сервер архитектуры обеспечивает непрерывное адресное и своевременное поступление контрольно-измерительной информации, реализованной на нижнем уровне, на верхние уровни интеллектуальной системы управления и на исполнительные механизмы. Сервер организует взаимодействия с нижним уровнем через программируемые логические контроллеры, противоаварийные системы и средства беспроводной связи. Над сервером находится SysLM и облако промышленного предприятия. Система управления жизненным циклом системы – SysLM основана на системе управления жизненным циклом продукта – PLM и виртуальном двойнике (Virtual Twin). Основная задача этой части – управление жизненным циклом продукции путем выборки основных показателей виртуального двойника, который считается продуктом цифрового моделирования в качестве эталона.

База метаданных в облаке, расположенная на вершине архитектуры, вбирает в себя всю информацию о процессе в каждый момент времени и обеспечивает быструю обработку большого объема данных, необходимых для эффективной работы интеллектуальной системы управления.

Неопределенность параметров в управлении жизненным циклом разделительных комплексов. При управлении жизненным циклом технологических комплексов разделения многокомпонентных смесей на работу разделительного комплекса одновременно влияют управляющие сигналы и неопределенность технологических параметров. Неопределенность, в свою очередь, влияет и на поведение разделительного комплекса. Поэтому особое внимание следует уделять технологическим функциям разделительного комплекса (рис. 8).



Рис. 8. Влияние неопределенности на технологию, технологические функции и жизненный цикл разделительного комплекса.

Технологические функции, разработанные с учетом неопределенности параметров, можно использовать многократно, пока они не станут неадекватными. Когда неопределенности параметров можно будет «контролировать и оценивать», жизненный цикл разделительного комплекса гарантированно будет успешным и повторяемым.

Выделим неопределенность действий и неопределенность входных параметров при выполнении технологических функций комплекса разделения многокомпонентных смесей (рис. 9). Неопределенность действий выражается ситуацией, возникающей при реализации стадии жизненного цикла.



Рис. 9. Технологические функции разделительного комплекса.

Влияние неопределенности входного параметра на управление жизненным циклом комплекса описывается методом Монте-Карло, где значение функции плотности вероятности выбирается для каждого входного параметра  $X_i$ . Затем рассчитываются выходные значения построенной модели процесса разделения. Выходные значения  $z$  модели выражаются следующим уравнением:

$$z = \sum W_i X_i, \quad (12)$$

где  $W_i$  – коэффициент чувствительности;  $X_i$  – входные параметры;  $z$  – выходные значения.

Входные параметры  $X$ , коэффициенты чувствительности  $W$  и выходные значения  $z$  описываются следующими выражениями соответственно:

$$X = \begin{bmatrix} x_1(1) & \dots & x_n(1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1(N) & \dots & x_n(N) \end{bmatrix}, \quad (13)$$

$$W = [w_1 \dots w_n], \quad (14)$$

$$z = (w^T \cdot X^T)^T, \text{ или } \begin{pmatrix} w^T \cdot x(1) \\ \dots \\ w^T \cdot x(N) \end{pmatrix}, \quad (15)$$

где  $N$  – количество итераций.

Выделяем два основных фактора, влияющих на технологические функции комплекса разделения многокомпонентных смесей: неопределенности и управление. В целом, учет неопределенностей при построении интеллектуальной системы управления жизненным циклом комплекса даст хороший эффект при организации управления деятельностью комплекса.

В четвертой главе диссертации, озаглавленной «Разработка способов управления жизненным циклом технологических комплексов процессов разделения многокомпонентных смесей» изложена разработка способов управления жизненным циклом технологических комплексов разделения и описана их реализация.

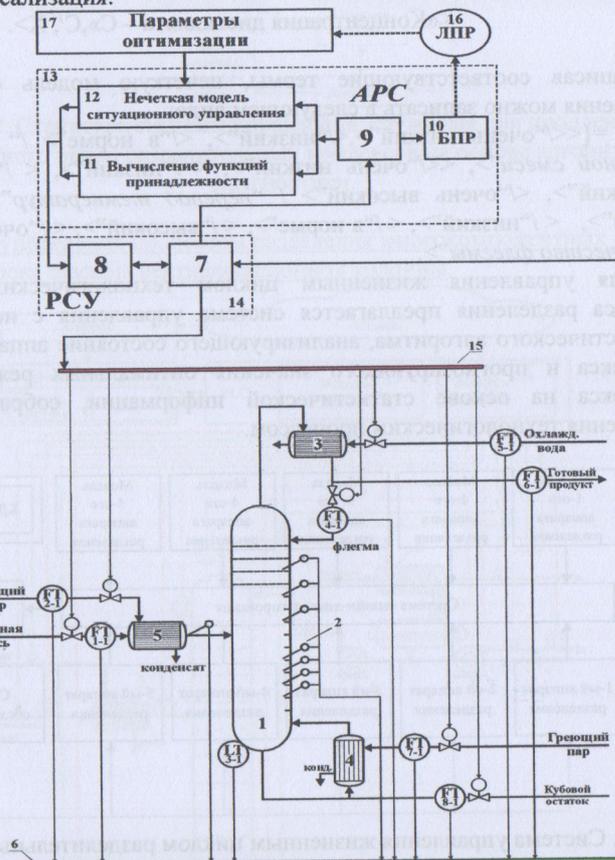


Рис. 10. Функциональная схема реализации способа интеллектуального управления процессом разделения многокомпонентных смесей.

В функциональной схеме предлагаемого интеллектуального способа управления выделяют две основные составные части: усовершенствованную APC-систему управления и распределенную систему управления. На структурной схеме показаны APC – Advanced Process Control – усовершенствованная система управления, PCU – распределенная система управления, БПР – блок принятия решений, ЛПР – лицо, принимающее решения, и их задачи.

Предлагаемый способ интеллектуального управления основан на нечеткой модели ситуационного управления, а нечеткая модель основана на расчете функций принадлежности. В качестве лингвистической переменной был получен показатель качества продукта, то есть концентрации дистиллята:

«Концентрация дистиллята – С», С', X».

Записав соответствующие термы, нечеткую модель ситуационного управления можно записать в следующем виде:

$S_i = \{ \langle \langle \text{“очень низкий”} \rangle, \langle \text{“низкий”} \rangle, \langle \text{“в норме”} \rangle / \text{“концентрация начальной смеси”} \rangle, \langle \langle \text{“очень низкий”} \rangle, \langle \text{“низкий”} \rangle, \langle \text{“в норме”} \rangle, \langle \text{“высокий”} \rangle, \langle \text{“очень высокий”} \rangle / \text{“перепад температур”} \rangle, \langle \langle \text{“очень низкий”} \rangle, \langle \text{“низкий”} \rangle, \langle \text{“в норме”} \rangle, \langle \text{“высокий”} \rangle, \langle \text{“очень высокий”} \rangle / \text{“количество флегмы”} \rangle.$

Для управления жизненным циклом технологических комплексов процесса разделения предлагается система управления с использованием диагностического алгоритма, анализирующего состояние аппарата в составе комплекса и прогнозирующего значения оптимальных режимов работы комплекса на основе статистической информации, собранной в ходе управления технологическим процессом.



Рис. 11. Система управления жизненным циклом разделительных комплексов на основе алгоритма онлайн диагностики.

На базе системы онлайн диагностики и алгоритма диагностики возможна разработка системы управления, позволяющей продлить жизненный цикл технологических комплексов разделения (рис. 12).

Разработанная система управления позволяет прогнозировать работу разделительного комплекса, управлять его надежностью, а также продлевать жизненный цикл комплекса с учетом рисков при управлении разделительными аппаратами, а также с эффективностью работы комплекса.



Рис. 12. Структура системы управления, служащая для продления жизненного цикла разделительных комплексов на основе алгоритма диагностики.

Способ управления процессом разделения многокомпонентных смесей и продление срока службы ректификационной колонны.

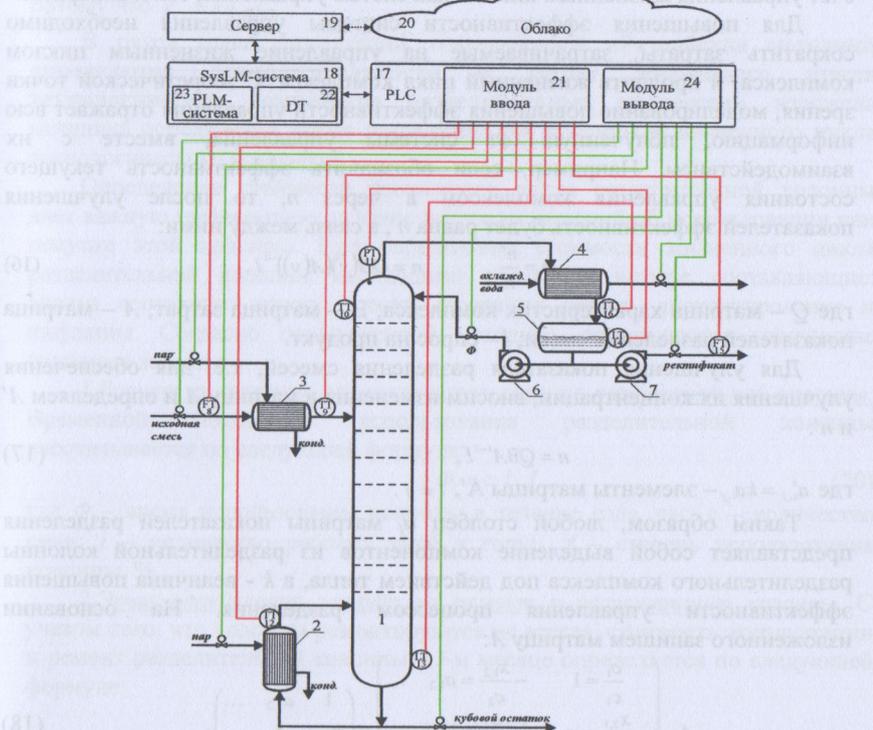


Рис. 13. Функциональная схема реализации способа управления процессом разделения многокомпонентных смесей и продления срока службы ректификационной колонны: 1 – ректификационная колонна; 2 – кипятильник; 3 – теплообменник; 4 – дефлегматор; 5 – конденсатор; 6,7- насосы; FT8, FT15 – датчики

расходов; ТТ9, ТТ10, ТТ12, ТТ 16 – датчики температур; РТ11 – датчик давления; ЛТ13, ЛТ14 – датчики уровня; 17 – PLC (программируемый логический контроллер); 18 – SysLM – это система (система управления жизненным циклом систем); 19 – сервер; 20 – облако; 21 – модуль ввода; 22 – ДТ (цифровой двойник), состоит из цифровой модели процесса; 23 – PLM-система (Product Lifecycle Management System) отвечает за управление жизненным циклом ректификационной колонны; 24 – модуль вывода; 25 – PLM-сервер.

Способ управления имеет PLM-сервер, в отличие от традиционных способов управления. Сервер организован во взаимосвязи с SysLM-системой, обеспечивающей управление жизненным циклом системы управления комплексом. Система управления жизненным циклом системы – SysLM, в свою очередь, организует неотъемлемые части PLM-системы, управляющей жизненным циклом аппаратов в комплексе, и цифрового двойника ДТ. Этот способ управления жизненным циклом служит для обеспечения экономии ресурсов и энергии при одновременном повышении качества продукции за счет управления жизненным циклом как систем управления, так и аппаратов.

Для повышения эффективности системы управления необходимо сократить затраты, затрачиваемые на управление жизненным циклом комплекса, и продлить жизненный цикл комплекса. С теоретической точки зрения, моделирование повышения эффективности управления отражает всю информацию, полученную от системы управления, вместе с их взаимодействием. Например, если обозначить эффективность текущего состояния управления комплексом в через  $n$ , то после улучшения показателей эффективность будет равна  $n'$ , а связь между ними:

$$m = \frac{n'}{n}, \quad n = QB(y)(A(y))^{-1}l, \quad (16)$$

где  $Q$  – матрица характеристик комплекса;  $B$  – матрица затрат;  $A$  – матрица показателей разделения смеси;  $l$  – спрос на продукт.

Для улучшения показателя разделения смесей, т.е. для обеспечения улучшения их концентрации, вносим изменения в матрицу  $A$  и определяем  $A'$  и  $n'$ :

$$n = QBA'^{-1}l, \quad (17)$$

где  $a'_{i,j} = ka_{i,j}$  – элементы матрицы  $A'$ ,  $i \neq j$ .

Таким образом, любой столбец  $a_j$  матрицы показателей разделения представляет собой выделение компонентов из разделительной колонны разделительного комплекса под действием тепла, а  $k$  – величина повышения эффективности управления процессом разделения. На основании изложенного запишем матрицу  $A$ :

$$A = \begin{pmatrix} \frac{c_1}{c_1} = 1 & -\frac{x_{1,2}}{c_2} = a_{1,2} & \dots \\ -\frac{x_{2,1}}{c_1} = a_{2,1} & \frac{c_2}{c_2} = 1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & a_{1,2} & \dots \\ a_{2,1} & 1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}, \quad (18)$$

где  $c$  – свойства извлекаемого компонента;  $j$  – число, указывающее, на каком

аппарате выполняется процесс разделения;  $x_{ij}$  – количество потребляемой энергии;  $a_{j-1}$  и  $a_{j-2}$  – аппараты в комплексе разделения.

Для повышения эффективности управления умножим недиагональные элементы матрицы  $A$  в столбцах  $a_{j-1}$  и  $a_{j-2}$  на коэффициент повышения эффективности, чтобы сформировать матрицу  $A'$ , представляющую собой эффективность после изменения некоторых показателей:

$$A' = \begin{pmatrix} \frac{c'_1}{c_1} = 1 & -\frac{x'_{1,2}}{q'_2} = ka_{1,2} & \dots \\ -\frac{x'_{2,1}}{c'_1} = ka_{2,1} & \frac{c'_2}{c_2} = 1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & ka_{1,2} & \dots \\ ka_{2,1} & 1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}. \quad (19)$$

В полученной системе готовый продукт представлен через  $c'_j$ , а потребление энергии – через  $x'_{ij}$ . Это означает, что  $x'_{ij}$  не просто пропорционально его предыдущему значению, но и более эффективно, потому что  $x'_{i,j} = ka_{i,j}c'_j$ .

В пятой главе диссертации, озаглавленной «Разработка методики определения продолжительности и затрат жизненного цикла технологических комплексов разделительных процессов», изложена методика определения затрат разделительной колонны и жизненного цикла технологического комплекса.

Определение стоимости жизненного цикла разделительной колонны дает важную информацию на этапе принятия решений об использовании или покупке этой колонны. При определении стоимости жизненного цикла разделительной колонны необходимо учитывать четыре составляющие: анализ составных затрат, оценка стоимости затрат, дисконтирование и инфляция. Согласно предложенной методике, определяются следующие основные затраты:

1. Расчет показателя годового использования разделительной колонны.

Временной показатель использования разделительной колонны рассчитывается по следующей формуле:

$$\Phi_c = c \cdot l \cdot f, \quad (20)$$

где  $\Phi_c$  – время использования колонны в течение года, час;  $c$  – количество смен;  $l$  – количество рабочих дней в году;  $f$  – степень использования колонны, %.

2. Этап определения затрат на ремонт и эксплуатацию колонны.

С учетом того, что колонны ремонтируются не всегда, стоимость эксплуатации и ремонт разделительной колонны в  $i$ -м месяце определяется по следующей формуле:

$$X_i = \frac{T_k \beta_0 \left(\frac{i}{12}\right) \beta_1 \Phi_c \beta_2}{12}, \quad (21)$$

где  $i$  – месяц использования колонны;  $X_i$  – затраты на эксплуатацию и ремонт в  $i$ -м месяце;  $T_k$  – стоимость колонны;  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  – коэффициенты, влияющие на

эксплуатационные расходы и затраты на технический ремонт;  $\Phi_c$  – время использования колонны в течение года, час.

Принимая во внимание инфляционное влияние, можно написать следующую формулу:

$$X_{(i)} = X_i(1 + I_i)^{\frac{i}{12}}, \quad (22)$$

где  $X_{(i)}$  – расходы на эксплуатацию и технический ремонт колонны с учетом инфляции;  $I_i$  – коэффициент инфляции.

С учетом инфляции от покупки новой колонны до  $i$ -го месяца использования стоимость колонны определяется следующим образом:

$$T_{k(i)} = (T_k - \Phi_k(i))(1 + I_k)^{\frac{i}{12}}, \quad (23)$$

где  $T_{k(i)}$  – затраты на покупку новой колонны с учетом инфляции;  $I_k$  – коэффициент инфляции;  $\Phi_k(i)$  – показатель, зависящий от времени использования устаревшей колонны.

3. Определение срока окупаемости (продолжительности) внедрения разделительной колонны в производство. На этом этапе определяется оптимальный период покрытия  $Q_{opt}$ .

Когда новая разделительная колонна запускается в производство, расходы на технический ремонт и эксплуатацию снижаются. В результате полученная прибыль определяется следующим образом:

$$Z_{i,j} = X_{i,j} - X_i, \quad (24)$$

где  $Z_{i,j}$  – прибыль, полученная после приобретения новой колонны.

Срок окупаемости определяется следующим образом:

$$Q_j = \min \{i : Z_{i,j} \geq T_k - \Phi(j)\}, \quad (25)$$

где  $Q_j$  – срок окупаемости покупки новой колонны.

На основе срока окупаемости определяем оптимальный срок эксплуатации колонны:

$$t_{c,opt} = \min \{j : Q_j = Q_{opt}\}, \quad (26)$$

где  $t_{c,opt}$  – оптимальная наработка жизненного цикла колонны.

Приведем графики изменения стоимости в жизненном цикле разделительной колонны.

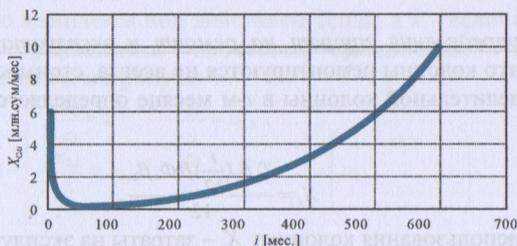


Рис. 14. График средних затрат в рабочем цикле колонны.

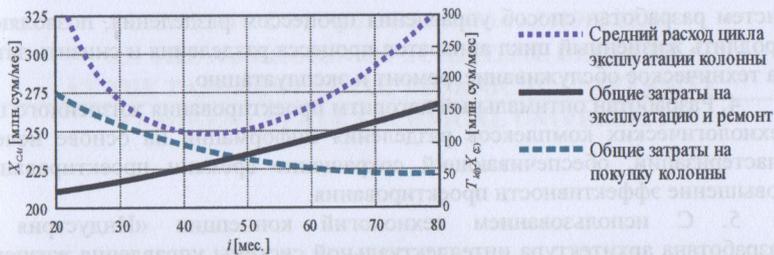


Рис. 15. Графики затрат на приобретение, эксплуатацию, ремонт и техническое обслуживание в течение жизненного цикла разделительной колонны.

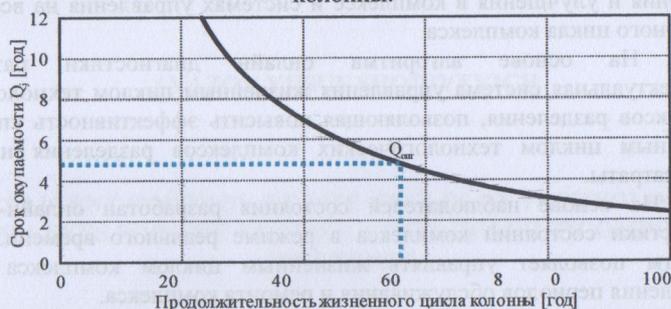


Рис. 16. График определения периода продолжительности жизненного цикла и срок окупаемости затрат на реализацию разделительной колонны.

По приведенным формулам можно определить стоимость жизненного цикла и продолжительности цикла аналогичных колонн и аппаратов химической, нефтехимической и пищевой промышленности.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования интеллектуального управления жизненными циклами технологических комплексов разделения многокомпонентных смесей получены следующие научные результаты:

1. Проанализировано современное состояние теории и практики управления жизненным циклом многокомпонентных смесеразделительных комплексов. В результате определены направления их дальнейшего развития и совершенствования.

2. На основе нечеткой модели ситуационного управления разработан способ интеллектуального управления процессом разделения многокомпонентных смесей, что позволяет эффективно организовать технологические процессы разделения и интеллектуальные системы управления ими, а также снизить энергозатраты.

3. На основе концепций управления жизненным циклом продукции и

систем разработан способ управления процессом разделения, позволяющий продлить жизненный цикл аппаратов процесса разделения и снизить затраты на техническое обслуживание, ремонт и эксплуатацию.

4. Разработан оптимальный алгоритм проектирования жизненного цикла технологических комплексов разделения информации на основе нечеткой кластеризации, обеспечивающий сокращение времени проектирования и повышение эффективности проектирования.

5. С использованием технологий концепции «Индустрия 4.0» разработана архитектура интеллектуальной системы управления жизненным циклом технологических комплексов разделения многокомпонентных смесей. Архитектура обеспечивает гибкость систем управления, фиксируя изменения и улучшения в комплексе и системах управления на всех этапах жизненного цикла комплекса.

6. На основе алгоритма онлайн диагностики разработана интеллектуальная система управления жизненным циклом технологических комплексов разделения, позволяющая повысить эффективность управления жизненным циклом технологических комплексов разделения и снизить энергозатраты.

7. На основе наблюдателей состояния разработан онлайн-алгоритм диагностики состояний комплекса в режиме реального времени. Данный алгоритм позволяет управлять жизненным циклом комплекса за счет определения периодов обслуживания и ремонта комплекса.

8. Усовершенствована теория управления технологическими процессами, что позволяет расширить возможности эффективного решения задач учета жизненного цикла комплексов и разработать новые способы построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами.

9. Эффективность комплексного управления оценивалась по критериям повышения качества продукции и снижения энергопотребления с учетом неопределенностей в комплексном управлении жизненным циклом. Использование этих оценок дает возможность решения задач по обеспечению энерго- и ресурсосбережения при управлении жизненным циклом комплексов.

10. Предложенная методика определения продолжительности и стоимости жизненного цикла технологических комплексов процесса разделения многокомпонентных смесей, позволяющая оценивать затраты в течение жизненного цикла комплексов и принимать решения об их деятельности.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03/30.12.2019.T.03.02**  
**ON THE ADMISSION OF SCIENTIFIC DEGREES**  
**AT THE TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**  
**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**AVAZOV YUSUF SHODIYEVICH**

**INTELLIGENT CONTROL OF LIFE CYCLES OF TECHNOLOGICAL**  
**COMPLEXES FOR THE RECTIFICATION OF MULTICOMPONENT**  
**MIXTURES**

**05.01.08 - Automation and control of technological processes and manufactures**

**ABSTRACT OF THE DISSERTATION OF**  
**DOCTOR OF SCIENCES (DSc) ON TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent – 2022**

The theme of doctoral (DSc) dissertation was registered at the Supreme Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2020.2.DSc/T341.

The dissertation has been prepared at Tashkent State Technical University.

The abstract of dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on the web-page of Scientific Council ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) and Information and Educational Portal «Ziyonet» ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Scientific consultant:**

**Yusupbekov Nodirbek Rustambekovich**  
doctor of technical sciences, professor, academician

**Official opponents:**

**Igamberdiev Husan Zakirovich**  
doctor of technical sciences, professor, academician

**Kaipbergenov Batirbek Tulebergenovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Parsiyev Saydiyat Solixodjayevich**  
doctor of technical sciences, associate professor

**Leading organization:**

**JV LLC "Ximavtomatika"**

Defense of dissertation will take place in « 06 » 12 2022 at 10<sup>00</sup> o'clock at a meeting of the scientific council DSc.03/30.12.2019.T.03.02 at the Tashkent state technical university (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz)).

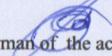
The doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center of Tashkent state technical university (registration number 286. (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 246-03-41.)

Abstract of dissertation sent out on « 21 » 11 2022 year.  
(mailing report № 18, on « 01 » 11 2022 year).



  
**F.T. Adilov**  
Vice-Chairman of scientific council,  
awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor

  
**U.F. Mamirov**  
Scientific secretary of scientific council,  
awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, associate professor

  
**H.Z. Igamberdiev**  
Chairman of the academic seminar under the  
scientific council awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor, academician

## INTRODUCTION (abstract of DSc thesis)

**The aim of the research work** is to improve the theory of consideration of the life cycles of the technological complex, as well as to develop a system and methods for managing the life cycles of technological processes using the example of the rectification of multicomponent mixtures.

**The object of the research work** is technological complexes for the rectification of multicomponent mixtures and their life cycles.

**Scientific novelty of the research work is as follows:**

the theory has been improved and an algorithm for the optimal design of the life cycle of technological process complexes based on the data mining method has been developed, which reduces the design time;

a control system and an online diagnostic algorithm based on state observers have been developed to extend the life cycles of technological complexes for the rectification of multicomponent mixtures;

the theory has been improved and an intelligent process control system has been developed, which makes it possible to increase the efficiency of controlling the life cycle of technological complexes for the rectification of multicomponent mixtures and reduce energy costs;

a method has been developed for controlling the rectification process based on system life cycle management, which makes it possible to extend the life cycles of devices for the rectification process of multicomponent mixtures;

a method has been developed for intelligent control of the process of rectification of multicomponent mixtures based on a fuzzy situational control model, which makes it possible to improve the quality of product and improve the control of the rectification process;

a method is proposed for determining the duration of cycles and the cost of the life cycle of technological rectification complexes based on the calculation of costs for each stage of the life cycle, which makes it possible to estimate the total cost of the life cycle of the complex.

**Implementation of the research results.** Based on the obtained scientific results on the intelligent management of the life cycle of technological complexes:

methods of intellectual control of the processes of rectification of multicomponent mixtures were introduced at LLC "Ferghana Oil Refinery" (Reference «O'ZLITINEFTGAZ» JSC № 35/2771, October 17, 2022). As a result, this improved the quality of control of the rectification process and extended the service life of the apparatus;

an algorithm for the optimal design of the life cycle of technological process complexes based on the data mining method was introduced at LLC "Ferghana Oil Refinery" (Reference «O'ZLITINEFTGAZ» JSC № 35/2771, October 17, 2022). As a result, this made it possible to reduce the design time for rectification technological complexes;

an intelligent control system for the technological complex for the rectification of multicomponent mixtures was introduced at LLC "Ferghana Oil

Refinery” (Reference «O‘ZLITINEFTGAZ» JSC № 35/2771, October 17, 2022). The results of scientific research have made it possible to increase the efficiency of managing the life cycle of rectification technological complexes and reduce energy costs by 3%.

**The structure and volume of the dissertation.** The thesis consists of an introduction, five chapters, a conclusion, a list of used literature and applications. The volume of the thesis is 192 pages of typewritten text.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (Часть I; Part I)**

1. Патент РУз (UZ) № IAP 07138. Способ интеллектуального управления процессом разделения многокомпонентных смесей / Юсупбеков Н.Р., Авазов Ю.Ш. Расмий ахборотнома, 2022. –№11.
2. Решение о выдаче патента. № IAP 2022 0402. Способ управления процессом разделения многокомпонентных смесей и продления жизненного цикла ректификационной колонны / Юсупбеков Н.Р., Авазов Ю.Ш. Решение от 04.08.2022г. Государственное учреждение «Центр интеллектуальной собственности».
3. Avazov Yu.Sh. Governance Model the Stochastic Process of Rectification of Multicomponent Mixtures Based on Fuzzy Logic // Journal “Advances in Intelligent Systems and Computing”. Switzerland: Springer Nature. 2021. Volume 1323. –PP.364-376. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-68004-6\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-030-68004-6_48) (3, Scopus, IF 0,9).
4. Avazov Yu.Sh. Control of the Facial Design Process of Innovative Developments // International scientific and technical journal “Chemical technology. Control and Management”. –№5(101). -2021. –PP.58-61. <https://doi.org/10.51346/tstu-02.21.5-77-0042> (05.00.00, №12)
5. Avazov Yu.Sh. Design Lifecycle Management of Technological Processes // International scientific and technical journal “Chemical technology. Control and Management”. –№6(102). -2021. –PP.5-12. <https://doi.org/10.51346/tstu-02.21.6-77-0045> (05.00.00, №12)
6. Avazov Yu.Sh. Modular Approach in Designing the Lifecycle of Technological Complexes for the Rectification of Multicomponent Mixtures // International scientific and technical journal “Chemical technology. Control and Management”. –№1(103). -2022. –PP.23-31. (05.00.00, №12)
7. Avazov Yu.Sh. Architecture of the Intellectual Control System of the Lifecycle of Technological Complexes for the Rectification of Multicomponent Mixtures // International scientific and technical journal “Chemical Technology. Control and Management”. –№2(104). -2022. –PP.52-58. (05.00.00, №12)
8. Юсупбеков Н.Р., Авазов Ю.Ш. Нефтни бирламчи қайта ишлашда ажратиш технологик жараёнларини бошқариш учун маҳсулотлар ҳаётий циклини бошқариш тизими архитектураси // “Фан ва технологиялар тараққиёти” илмий-техникавий журнал. -№4. -2022. – 142-147б. (05.00.00, №24)
9. Avazov Yu.Sh. Intelligent Control System of the Lifecycle of Technological Complexes of Rectification Processes // International Journal of Discoveries and Innovations in Applied Sciences. e-ISSN: 2792-3983.

www.openaccessjournals.eu. -Volume 2. -Issue 8. -Spain, 2022. –PP.45-48. (23, SJIF, IF 6,1)

10. Avazov Yu.Sh. Role of Service Provision in Lifecycle Management of Technological Complexes of Rectification Processes // *Academicia: An International Multidisciplinary Research journal*. ISSN: 2249-7137. - Volume 12. -Issue 09. -India, 2022. –PP.7-13. (23, SJIF, IF 8,2)
11. Avazov Yu.Sh. Control of the lifecycle of technological complexes of the rectification processes of multicomponent mixtures // *Journal “Technical sciences and innovation”*. -№3(13). -2022. –PP.140-147. (05.00.00, №16)
12. Avazov Yu.Sh. Determination of the cost and duration of the lifecycle of rectification columns for multi-component mixtures // *International scientific and technical journal “Chemical Technology. Control and Management”*. -№3(105). -2022. –PP.30-35. (05.00.00, №12)
13. Yusupbekov N.R., Avazov Yu.Sh. Method of intelligent control of the process of rectification of multicomponent mixtures // *Journal “Technical sciences and innovation”*. -№3(13). -2022. –PP.148-154. (05.00.00, №16)
14. Yusupbekov N.R., Avazov Yu.Sh. Improving the efficiency control of lifecycle of technological complexes for the rectification of multicomponent mixtures // *Special issue of the International scientific and technical journal “Chemical Technology. Control and Management”*. -№4-5(106-107). -2022. –PP.05-10. (05.00.00, №12, Scopus, OAK ning 30.09.2022 йилдаги 471-сон Карори)

## II бўлим (Часть II; Part II)

15. Авазов Ю.Ш. Нейро-нечеткие модели динамических объектов управления // *Международная научно-практическая конференция «Инновационные решения инженерно-технологических проблем современного производства» 14-16 ноября 2019г.* -Бухара, 2019. –Т2. –С.219-223.
16. Авазов Ю.Ш. Технологик жараёнларни лойихалашнинг ҳаётий циклини бошқариш // «Рақамли ҳаёт ва ижтимоий фанларнинг баркамол авлодни вояга етказишдаги ўрни ва аҳамияти: долзарб муаммолар ва истиқбол» халқаро илмий-амалий анжуман материаллари тўплами. V шўба. -Андижон, 12 апрель 2022. -609-614б.
17. Авазов Ю.Ш. UniSim Design дастурини технологик жараёнларни лойихалашнинг ҳаётий циклини бошқаришда қўлланилиши // «Инновацион техника ва технологияларнинг кишлоқ хўжалиги озиқ-овқат тармоғидаги муаммо ва истиқболлари» халқаро илмий-техник анжуман материаллари тўплами. II қисм. -Тошкент, 22-23 апрель 2022. -260-261б.
18. Avazov Yu.Sh. Neftni birlamchi qayta ishlash jarayoni hayotiy siklini boshqarishda axborotli modelni qo'llanilishi // «Fan va ishlab chiqarish integratsiyalashuvi sharoitida kimyo texnologiya, kimyo va oziq-ovqat

- sanoatidagi muammolar va ularni bartaraf etish yo‘llari” respublika ilmiy-amaliy konferensiya materiallari to‘plami. II qism. -Namangan, 3-4 iyun 2022. -164-166b.
19. Авазов Ю.Ш. Алгоритм сокращения жизненного цикла проектирования технологических процессов // Сборник научных статей по итогам работы Международного научного форума «Наука и инновации – современные концепции». -Москва, 29 июля 2022. –С.137-142.
  20. Авазов Ю.Ш. Построение пирамиды интеллектуальной системы управления бизнес-процессами промышленных предприятий путем внедрения концепции «Индустрия 4.0» // Сборник научных статей по итогам работы Международного научного форума «Наука и инновации – современные концепции». -Москва, 29 июля 2022. –С.143-149.
  21. Авазов Ю.Ш. Общая модель жизненного цикла технологических комплексов разделения многокомпонентных смесей // Материалы Межвузовского международного конгресса «Высшая школа: научные исследования». -Москва, 4 августа 2022. –С.88-93.
  22. Авазов Ю.Ш. Управления информацией о жизненном цикле технологических комплексов // Материалы Межвузовского международного конгресса «Высшая школа: научные исследования». -Москва, 4 августа 2022. –С.94-98.
  23. Yusupbekov N.R., Avazov Yu.Sh. Building a Pyramid of Intelligent Control System of Business Processes of Industrial Enterprises by Introducing the Concept of “Industry 4.0” // Proceedings of International Conference “Scientific Research of the SCO Countries: Synergy and Integration”. - Beijing (China) August 10, 2022. Part 2. –PP.145-151.
  24. Юсупбеков Н.Р., Авазов Ю.Ш. Программное обеспечение для оптимального проектирования жизненного цикла технологического комплекса разделения // Центр интеллектуальной собственности при Минюст РУз. Свидетельство № DGU 19092 от 25.10.2022 г.
  25. Юсупбеков Н.Р., Авазов Ю.Ш. Программное обеспечение для определения продолжительности и стоимости жизненного цикла технологических комплексов разделения многокомпонентных смесей // Центр интеллектуальной собственности при Минюст РУз. Свидетельство № DGU 19093 от 25.10.2022 г.

Автореферат “Technical science and innovation” илмий журнали тахририятида тахрирдан ўтказилди ҳамда ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларни мослиги текширилди.

Босмахона лицензияси:



9338

Бичими: 84x60 1/16. «Times New Roman» гарнитураси.

Рақамли босма усулда босилди.

Шартли босма табоғи: 4. Адади 100 дона. Буюртма № 55/22.

Гувоҳнома № 851684.

«Tirograff» МЧЖ босмахонасида чоп этилган.

Босмахона манзили: 100011, Тошкент ш., Беруний кўчаси, 83-уй.