

Корисна модель належить до галузі будівництва, а саме будівельного 3D-принтера.

Будівельний 3D-принтер - це пристрій, за допомогою якого можна будувати споруди шляхом виштовхування через сопло шарів пастоподібного розчину (бетону). 3D-друк у будівельній галузі допомагає заощадити час, зусилля та матеріали порівняно з традиційними методами будівництва.

З рівня техніки відомо будівельний 3D-принтер MaxiPrinter, що містить основу з чотириточковими опорами з гідравлічним приводом і дві стріли - основну та допоміжну. Вони мають тонкощільну, телескопічну конструкцію. Основна стріла встановлена на основі з можливістю обертання, поздовжнього розкладання та повороту у вертикальній площині. На вільному кінці основної стріли встановлена допоміжна стріла - з можливістю повороту у вертикальній площині і поздовжнього руху. Кожна стріла може рухатися у вертикальній площині за допомогою гідравлічних приводів [<https://en.constructions-3d.com/en/maxiprinter>].

Недоліком такого 3D-принтера є невеликий розмір робочої зони і, як наслідок, необхідність постійної релокації, що збільшує ризик виникнення похибки і призводить до необхідності очищення трубопроводу подачі розчину кожного разу після встановлення 3D-принтера на новому місці. Також недоліком є необхідність обладнання 3D-принтера засобами самостійного пересування по будівельному майданчику, що призводить до зростання його собівартості, збільшення загальної ваги, підвищення складності обслуговування, потреби в персоналі з високою кваліфікацією. Гідравлічні приводи, які застосовують для позиціонування стріли, обладнані складною системою керування.

Відомо будівельний 3D-принтер Apis Cor, який містить телескопічну стрілу, що складається з основної та додаткових стріл, при цьому телескопічна стріла встановлена на основі за допомогою гідравлічного механізму з можливістю вертикального переміщення та обертання у горизонтальній площині, а також друкуючу головку, встановлену на вільному кінці найвіддаленішої від основи при вильоті допоміжної стріли [<https://apis-cor.com>].

Цей будівельний 3D-принтер має ті самі ж недоліки, що і попередній аналог. Крім цього, він містить масивну стрілу, важкі лінійні напрямні, які потребують додаткового захисту, складний гідравлічний механізм підйому, що потребує стабілізації та додаткового захисту (наприклад гофроподібного кожуха, який сприймає вітрове навантаження).

Відомо будівельний 3D-принтер, що містить основу, вертикальну напрямну колону, встановлену на основі, основну стрілу, встановлену на колоні з можливістю вертикального руху та з можливістю обертання у горизонтальній площині, допоміжну стрілу, встановлену на винесеному кінці основної стріли з можливістю повороту у горизонтальній площині, друкуючу головку, встановлену на вільному кінці допоміжної стріли та змішувальний вузол, з'єднаний розчинопроводом з друкуючою головкою, в якому змішувальний вузол встановлено на кінці основної стріли, вільному від допоміжної стріли [UA 155535 U, МПК: B29C 64/20, B29C 64/209, B33Y 30/00, E04G 21/20, опубл. 06.03.2024, бюл. № 10].

Недоліком цього 3D-принтера є те, що напрямна колона складається з трьох частин, при цьому верхня частина не потребує роз'єднання, як для транспортування, так і для безперешкодного вилучення 3D-принтера з будівельного майданчику. Направна колона, виготовлена з трьох частин, має значну вагу, та є більш трудовитратною при виробництві, оскільки має більше стикувальних поверхонь та елементів кріплення.

Також в конструкції 3D-принтера відсутні засоби для підтримання трубопроводу сухої суміші від пневмотранспортної установки змішувального вузла, тому його треба підтримувати і направляти руками, що призводить до труднощів експлуатації.

Важкий привод допоміжної стріли, що встановлений на винесеному кінці основної стріли, створює додатковий перекидальний момент інерції і має недостатню жорсткість для великого плеча. На осі обертання допоміжної стріли закріплено ведену шестірню привода, яка має значний діаметр і збільшує габаритні розміри принтера у складеному стані. Ведена шестірня не обладнана засобами захисту і є відкритою, що значною мірою збільшує вірогідність потрапляння сторонніх предметів у зачеплення.

У змішувальному вузлі використана штукатурна станція PFT G4, яка призначена для приготування сумішей з високою концентрацією води і не містить засобів для точного її дозування. Будівельні суміші для 3D-друку потребують набагато меншої концентрації води, тому і її дозування має бути більш точним.

В опорній чотириточковій системі основи не передбачено рівномірний розподіл навантаження між перехресно розташованими парами опор, що призводить до порушення стійкості 3D-принтера при друці.

Відомо установку для пошарового виготовлення тривимірних конструкцій, що містить основу, вертикальну напрямну колону, встановлену на основі, основну стрілу, встановлену на каретці з можливістю вертикального руху та з можливістю обертання у горизонтальній площині, допоміжну стрілу, встановлену на винесеному кінці основної стріли з можливістю повороту у горизонтальній площині, та друкуючу головку, встановлену на вільному кінці допоміжної стріли [UA 151814 U, МПК: B29C 64/106, B29C 64/209, E04B 1/16, опубл. 14.09.2022, бюл. № 37].

Така установка, що має базову конструкцію SCARA (тобто, важільний механізм), може обертатися навколо власної центральної осі в будь-якому напрямку, кут обертання -  $370^\circ$ .

Центральна вісь установки в нижній частині конструкції прикріплена і спирається на раму з металевого профілю. На центральній осі закріплено опорно-поворотний механізм (ОПМ), що виконаний з можливістю підйому і опускання та служить для підйому та опускання несучої стріли, яка закріплена у своїй початковій точці до поворотної частини ОПМ.

Опорно-поворотний механізм складається з двох рухомих частин. Опорна частина жорстко закріплена на центральній осі та здійснює переміщення опорно-поворотного механізму угору та вниз по центральній осі.

Опорно-поворотний механізм також дозволяє обертати несучу стрілу на  $370^\circ$ .

На кінці несучої стріли, спрямованої від центральної осі у зовнішній частині установки, розташовано шарнірно-поворотний механізм кріплення додаткової поворотної стріли з кутом повороту  $170^\circ$ , зміни кута повороту якої відносно несучої стріли під час будівельного 3D-друку дозволяє змінювати траєкторію лінії друку.

На кінці додаткової поворотної стріли закріплено екструзійний вузол зі змінними насадками, що забезпечує реалізацію адитивного будівельного друку за допомогою пошарового формування будівельної конструкції

Зазначена установка вибрана за найближчий аналог.

Найближчий аналог і заявлений пристрій мають наступні спільні ознаки:

- основа, на якій встановлена вертикальна напрямна колона;
- вузол переміщення, встановлений на напрямній колоні;
- основна стріла, прикріплена до опорно-поворотного пристрою вузла переміщення;
- основна стріла, встановлена з можливістю вертикального руху та з можливістю обертання у горизонтальній площині;
- допоміжна стріла, встановлена на винесеному кінці основної стріли з можливістю обертання у горизонтальній площині;
- вузол екструзії, закріплений на винесеному кінці допоміжної стріли і сполучений через трубопровід подачі розчину з змішувальним вузлом.

Недоліками найближчого аналога є значна довжина трубопроводу для подачі розчину, оскільки його змішувальний вузол є окремим пристроєм і розташований на значній відстані - 30...40 м від вузла екструзії будівельної суміші. Така довжина трубопроводу для подачі розчину підвищує вірогідність утворення осередків застиглого розчину в ньому, особливо при контакті з прямим сонячним промінням. При перекачуванні розчину на велику відстань виникають динамічні і статичні опори, які постійно змінюються, що може призвести до розшарування розчину всередині трубопроводу, що значною мірою впливає на міцність готової конструкції, а також може призвести до втрати розчином можливості прокачування, що, в свою чергу, призводить до псування трубопроводу. Потреба в перекачуванні на більшу відстань також потребує більшої кількості елементів для транспортування розчину, що збільшує собівартість самої суміші. Можна зазначити, що проходження розчину по трубопроводу великої довжини займає певний час, що, в свою чергу, призводить до затримки між зміною параметрів розчину (наприклад, збільшення або зменшення концентрації води в змішувальному вузлі для коригування консистенції суміші) і візуальним контролем укладання шарів. Також значна довжина трубопроводу призводить до збільшення відходів розчину, які не підлягають використанню.

У найближчому аналогу не передбачено елементів електроніки безпосередньо на установці, тобто їх встановлюють окремо - віддалено, що викликає необхідність прокладання від установки до електричної шафи великої кількості проводів, що ускладнює підготовку до друку, а також відсутні елементи укладання цих комунікацій, що значною мірою зменшує надійність.

Основа має триточкову опорну систему, що потребує великої довжини виносу опор для протидії значним перекидальним моментам, які виникають через відсутність противаги на основній стрілі, що призводить до збільшення невикористаної плями друку.

Опори не мають електричних приводів, а тому потребують ручної установки, що збільшує час на розгортання установки на місцевості і збільшення ручної праці. Колона установки виконана також тригранною, і містить верстатні напрямні, які схильні до корозії і чутливі до забруднень. Непарна кількість сторін потребує використання одного підйомного механізму, що не відповідає вимогам безпеки і нерівномірно навантажує каретку, або трьох підйомних механізмів, що збільшує собівартість установки.

В основу корисної моделі поставлена задача створити будівельний 3D-принтер, в якому шляхом введення нових вузлів, іншої форми виконання відомих вузлів та іншого розташування вузлів один відносно одного, забезпечити суттєве зменшення масо-габаритних показників пристрою, спрощення експлуатації, підвищення енергетичної ефективності, екологічності, підвищення стабільності розчину (бетонної або розчинової суміші), спрощення коригування його консистенції, зменшення кількості відходів, управління якістю 3D-друку та технологічними рішеннями в режимі реального часу за рахунок

автоматизації.

Поставлену задачу вирішують тим, що у будівельному 3D-принтері, який містить основу, на якій встановлена вертикальна просторова напрямна колона, вузол переміщення, встановлений на напрямній колоні, прикріплену до опорно-поворотного пристрою вузла переміщення просторову основну стрілу, встановлену з можливістю вертикального руху та з можливістю обертання у горизонтальній площині, просторову допоміжну стрілу, встановлену на винесеному кінці основної стріли з можливістю обертання у горизонтальній площині, вузол екструзії, закріплений на винесеному кінці допоміжної стріли і сполучений через трубопровід подачі розчину із змішувальним вузлом, згідно з корисною моделлю, напрямна колона є розбірною, напрямна колона, основна стріла та допоміжна стріла виконані з профільних елементів квадратного перерізу, вузол переміщення для здійснення вертикального руху містить каретку, обладнання для приготування розчину змішувального вузла встановлене на опорно-поворотному пристрої зі сторони, протилежної тій, на якій розміщена основна стріла, основа містить х-подібну чотирикінцеву раму, на кожному винесеному кінці якої встановлена автоматизована опора, при цьому кожна опора містить встановлений в корпусі підйомний механізм, що включає кроковий двигун, до якого підключений енкодер, сполучений з кроковим двигуном редуктор, вал якого сполучений з одним кінцем ходового гвинта виконавчого механізму, який також містить встановлені на редукторі рухому плиту з повзунами, та опорну гайку, встановлену на фланці, який жорстко закріплено в нижній частині корпусу, другий кінець ходового гвинта сполучено з опорною тарілкою за допомогою шарової опори, і простір між опорною тарілкою і нижньою частиною корпусу закрито гофрованим захисним кожухом, при цьому кроковий двигун сполучено з блоком керування і обробки інформації.

Заявлений будівельний 3D-принтер може додатково містити лінійний актуатор, встановлений одним кінцем на шарнірній опорі основної стріли, іншим кінцем - на шарнірній опорі допоміжної стріли.

Будівельний 3D-принтер може додатково містити сонцезахисні козирки, встановлені над трубопроводом подачі розчину (бетонної або розчинової суміші).

Будівельний 3D-принтер включає програмно-апаратний комплекс з головним модулем управління, модулем вирівнювання основи і модулем управління бетонним вузлом, WEB-інтерфейс, блок логування роботи 3D-принтера.

У будівельному 3D-принтері головний модуль управління містить пропрієтарний модуль для обміну даними з електромеханічними елементами 3D-принтера, блок обміну та передачі даних, валідатор команд керування.

У будівельному 3D-принтері модуль управління бетонним вузлом містить: блок керування подачею сухої суміші, блок мануального керування подачею води, блок автоматичного регулювання об'єму води в розчині, блок керування засувкою, блок керування змішуванням та подачею розчину, блок керуванням допоміжними вузлами.

Досягнення заявленого технічного результату пояснюється наступним.

Конструкція основи.

Наявність двох пар опор основи (чотириточкова конструкція) забезпечує зменшення площі невикористаної поверхні навколо 3D-принтера за рахунок зменшення довжини винесення опор, з підвищеною стійкістю до перекидання в порівнянні із триточковою опорною системою. Оскільки чотириточкова конструкція потребує рівномірного розподілення навантаження між перехресно розташованими парами опор, було розроблено спеціальні автоматизовані опори. Конструкція опор забезпечує надійне положення 3D-принтера протягом всього періоду роботи, на відміну від гідравлічної системи вирівнювання. Замість кошових серводвигунів або тензодатчиків застосовано крокові двигуни, обладнані енкодерами, що приводить до зменшення габаритів пристрою, його ваги і собівартості, а також підвищення надійності.

Конструкція основи забезпечує зменшення площі невикористаної поверхні навколо 3D-принтера за рахунок зменшення довжини винесення опор, з підвищеною стійкістю до перекидання в порівнянні з триточковою опорною системою.

Конструкція напрямної колони.

Заявлений будівельний 3D-принтер має чотиригранну вертикальну напрямну колону просторової конструкції, встановлену на основі.

Така конструкція напрямної колони має більшу жорсткість і меншу вагу порівняно із суцільнометалевою конструкцією, що сприяє зменшенню впливу вітрового навантаження, дозволяє встановити змішувальний вузол безпосередньо на принтері як противагу основній стрілі і дає можливість збільшити виліт всієї стріли, що, в свою чергу, дозволяє виконувати всі необхідні операції будівництва за одну установку 3D-принтера. Тобто, немає потреби в постійній релокації 3D-принтера, та, відповідно, немає потреби у використанні гусеничного шасі. Якщо немає необхідності переміщення основи 3D-принтера, знижується ризик виникнення похибок при повторному базуванні. Відсутня потреба додаткового промивання системи від розчину (між переміщеннями пристрою по будівельному майданчику).

Напрямна колона має чотиригранну форму, відповідно, парну кількість бічних сторін, що дозволяє

встановити два підйомних механізми і рівномірно розподілити навантаження між ними, що сприяє підвищенню надійності і безпеки підйомного механізму каретки. Напрямна колона складається з профільних елементів квадратного перерізу: вертикальних, горизонтальних, встановлених під кутом. Вертикальні профільні елементи включають два внутрішні (де встановлені зубчаті рейки, за допомогою яких здійснюють зачеплення підйомного механізму каретки) та чотири бічні (на які встановлено оброблені на фрезерному верстаті площадки, що виконують роль напрямних, по яких рухаються ролики, встановлені на підйомній каретці). Ролики мають поліуретанове покриття, яке не псує напрямних з лакофарбовим покриттям, що сприяє підвищенню стійкості впливу зовнішнього середовища. Горизонтально встановлені профільні елементи з кроком 790 мм забезпечують не тільки жорсткість конструкції, а і сприймають стискаюче зусилля роликів, встановлених на каретці. Елементи, встановлені під кутом, забезпечують жорсткість прямої колони в цілому, вони розташовані між горизонтальними елементами під кутом 40° відносно вертикальних елементів.

Напрямна колона виконана розбірною, і містить декілька частин (найчастіше - дві). Частини прямої колони можуть мати однакову довжину або різну довжину, та з'єднані між собою за допомогою фланцевого з'єднання, обладнаного циліндричними напрямними і болтовими з'єднаннями. Кожна з частин прямої колони містить свою зубчасту рейку.

Вказана розбірна конструкція полегшує транспортування 3D-принтера.

Конструкція вузла переміщення.

3D-принтер містить встановлений на прямій колоні вузол переміщення. Вузол переміщення включає каретку, яка забезпечує вертикальний рух основної частини стріли відносно прямої колони за допомогою зубчастої рейки, та опорно-поворотний пристрій, який забезпечує обертання основної частини стріли у горизонтальній площині.

Конструкція стріли.

Будівельний принтер містить дві стріли - основну і допоміжну стріли з алюмінієвих профільних елементів квадратного перерізу, які з'єднані між собою зварюванням у середовищі інертного газу, що забезпечує підвищення жорсткості, збільшення надійності конструкції при відносно невеликій вазі (що, відповідно, знижує момент інерції - зменшує енергоспоживання), зниження впливу вітрового навантаження та простоту виготовлення.

Основна стріла встановлена на опорно-поворотному пристрої вузла переміщення, що забезпечує можливість її обертання навколо каретки, яка здійснює тільки поздовжній рух по прямій колоні (підіймається або опускається).

Основна стріла виконана з можливістю обертання в горизонтальній площині навколо каретки на 260° в одну сторону, і на 260° - в іншу. Поворот здійснюється за допомогою опорно-поворотного пристрою із зубчатим вінцем, в зачеплення якого заходить ведуче колесо, встановлене на планетарному редукторі із серводвигуном, які, в свою чергу, закріплені нерухомо відносно стріли на каретці.

Допоміжна стріла встановлена на вільному кінці основної стріли з можливістю повертатися в горизонтальній площині на 165° в одну сторону, що здійснюється за допомогою лінійного актуатора. Лінійний актуатор встановлено одним кінцем на шарнірній опорі основної стріли, а іншим - на шарнірній опорі допоміжної стріли.

Доцільність використання лінійного актуатора пояснюється його компоновкою: важкий серводвигун, що є приводом допоміжної частини стріли, розташовано ближче до осі 3D-принтера, а зусилля передає відносно легкий шток, що надає можливість зменшити момент інерції на основній частині стріли.

Конструкція вузла екструзії.

Вузол екструзії містить насадку, встановлену на кінці труби з нержавіючого металу. Насадка надрукована на 3D-принтері, і може мати різну форму, залежно від необхідних складу і консистенції розчину. На трубі встановлено перетискний клапан. Вільним кінцем труба сполучена з трубопроводом подачі розчину, який сполучено із змішувальним вузлом.

Оскільки довжина трубопроводу подачі розчину скорочена, забезпечена стабільність потоку розчину, без необхідності застосування додаткових дозуючих елементів. Також менш складною є процедура промивання трубопроводу подачі розчину.

Конструкція і розташування змішувального вузла.

Змішувальний вузол містить обладнання для автоматизованого приготування будівельного розчину, наприклад штукатурну станцію PFT-G4, Knauf, Німеччина, та пневмотранспортну установку, наприклад PFT Silomat trans plus, Knauf, Німеччина. Можливість застосування як вузлів змішувального вузла стандартизованого і доступного обладнання приводить до зниження витрат на допоміжні елементи та матеріали, такі як шнекова пара, що замішує, спіраль, змішувальна камера та ін.

Обладнання для автоматизованого приготування будівельного розчину змішувального вузла розміщене на опорно-поворотному пристрої зі сторони, протилежній основній стрілі.

Таке розташування:

- компенсує силу, що діє на кінець допоміжної стріли при роботі 3D-принтера, з ризиком порушення

її горизонтального розташування, тобто діє як противага;

- дозволяє суттєво скоротити шлях транспортування розчину від змішувального вузла до насадки вузла екструзії, що мінімізує вплив сонця на розчин, сприяє його стабільності та спрощує коригування консистенції - наприклад довжина трубопроводу подачі розчину складає 11 м при повному вильоті стріли (основної та допоміжної частинами) на 8,5 м;

- забезпечує компактність 3D-принтера.

Під час розробки пристрою в змішувальному вузлі застосовували штукатурну станцію PFT-G4 (Knauf, Німеччина), але з деякими змінами:

- для більш стабільної подачі води в змішувальну камеру відцентровий насос було замінено на шнековий з приводом від крокового двигуна, а на асинхронний двигун насоса подачі робочої суміші встановлено еncoder, що надало можливість застосувати принцип електронного редуктора, та підвищити точність дозування об'єму води, що надходить до змішувальної камери.

- безпосередньо перед входом змішувальної камери встановлено підпірний клапан, який не дає воді (що знаходиться в трубопроводі між насосом і змішувальною камерою), вільно затікати в змішувальну камеру і не дає розчину витікати із змішувальної камери до трубопроводу подачі води.

Наявність сонцезахисних козирків.

Заявлений будівельний 3D-принтер може додатково містити сонцезахисні козирки. Трубопровід подачі розчину стаціонарно встановлено на бічній стороні стріли, що дає змогу закріпити над більшою його частиною сонцезахисні козирки L-подібної форми.

Головний модуль управління забезпечує рух принтера по заданій траєкторії із заданою швидкістю.

Модуль вирівнювання основи забезпечує вертикальність колони (утримує відхилення колони від вертикалі у будь-якому напрямку в заданих межах)

Модуль управління бетонним вузлом (станцією) забезпечує автоматизований і мануальний контроль та регулювання параметрів подачі сухої суміші будівельної, подачі води та змішування й подачі бетонної та розчинової суміші, що сприяє стабільності технологічного процесу та підвищенню якості 3D-друку

Корисна модель пояснюється кресленнями, де:

фіг. 1 - загальний вид будівельного 3D-принтера;

фіг. 2 - вид збоку будівельного 3D-принтера;

фіг. 3 - схема основи будівельного 3D-принтера;

фіг. 4 - опора основи будівельного 3D-принтера;

фіг. 5 - графік залежності крутного моменту від частоти обертання крокового двигуна;

фіг. 6. - блок-схема програмно-апаратного комплексу 3D-принтера;

фіг. 7 - блок-схема головного модуля управління;

фіг. 8 - блок-схема модуля вирівнювання основи;

фіг. 9 - блок-схема модуля управління бетонним вузлом (станцією).

Позначення на кресленні:

1 - основа;

2 - опора основи;

3 - напрямна колонна;

4 - каретка вузла переміщення;

5 - опорно-поворотний пристрій вузла переміщення;

6 - основна стріла;

7 - допоміжна стріла;

8 - вузол екструзії;

9 - трубопровід подачі розчину;

10 - обладнання для автоматизованого приготування будівельного розчину змішувального вузла;

11 - фільтрувальний вузол пневматичної установки змішувального вузла;

12 - трубопровід подачі сухої суміші від пневмотранспортної установки змішувального вузла;

13-поворотна напрямна, яка підтримує трубопровід подачі сухої суміші від пневмотранспортної установки змішувального вузла;

14 - бак для води змішувального вузла;

15 - насадка вузла екструзії;

16 - вертикальні напрямні напрямної колони 3;

17 - ребра жорсткості напрямної колони 3;

18 - зубчаста рейка, по якій підіймається та опускається каретка вузла переміщення;

19 - лінійний актуатор;

20 - радіальний кабелеукладач;

21 - сонцезахисні козирки;

22 - рама основи;

23 - корпус;

24 - кроковий двигун;

- 25 - енкодер;
- 26 - редуктор;
- 27 - ходовий гвинт;
- 28 - повзун;
- 29 - рухома плита;
- 30 - захисний кожух;
- 31 - шарова опора;
- 32 - опорна тарілка;
- 33 - електричний роз'єм;
- 34 - провід;
- 35 - фланець;
- 36 - опорна гайка;
- 37 - програмно-апаратний комплекс;
- 38 - головний модуль управління
- 39 - блок прийому та передачі даних;
- 40 - пропрієтарний модуль (інтерполятор)\
- 41 - блок збору телеметрії;
- 42 - блок прийому та передачі даних керуючої послідовності;
- 43 - блок обробки G-коду;
- 44 - комунікатор з бетонним вузлом;
- 45 - комунікатор з модулем вирівнювання основи
- 46 - модуль вирівнювання основи;
- 47 - комунікаційний інтерфейс модуля вирівнювання основи;
- 48 - система логування та телеметрії модуля вирівнювання основи;
- 49 - блок автоматичного вирівнювання;
- 50 - мануальне керування приводами лап;
- 51 - модуль управління бетонним вузлом (станцією);
- 52 - комунікаційний інтерфейс модуля управління бетонним вузлом (станцією);
- 53 - система логування та телеметрії модуля управління бетонним вузлом (станцією);
- 54 - блок керування змішуванням та подачею розчину;
- 55 - блок керування заслінкою;
- 56 - блок керування подачею сухої суміші;
- 57 - блок сервісним керуванням допоміжними вузлами;
- 58 - мануальне керування подачею води;
- 59 - блок автоматичного регулювання об'єму води в бетонній та розчиновій суміші
- 60-WEB-інтерфейс керування принтером
- 61 - блок логування роботи 3Д-принтера

Будівельний 3D-принтер (див. фіг. 1) містить встановлену на опорах 2 основу 1, вертикальну напрямну колону 3, встановлену на основі 1, вузол переміщення, стрілу, вузол екструзії 8, змішувальний вузол (окремою позицією не позначено) та трубопровід 9 подачі розчину.

Вузол переміщення розташований на напрямній колоні 3 і містить каретку 4 (яка забезпечує вертикальний рух основної частини стріли відносно напрямної колони 3 за допомогою зубчастої рейки 18) та опорно-поворотний пристрій 5 (який забезпечує обертання основної частини стріли у горизонтальній площині).

Основна стріла 6 розміщена на напрямній колоні 3 за допомогою вузла переміщення, з можливістю вертикального руху (за допомогою каретки 4) та з можливістю обертання у горизонтальній площині (за допомогою опорно-поворотного пристрою 5).

Допоміжна стріла 7 встановлена на винесеному кінці основної стріли 6 з можливістю обертання у горизонтальній площині за допомогою лінійного актуатора 19.

На вільному кінці допоміжної стріли 7 розташована насадка 15 вузла екструзії 8.

Змішувальний вузол сполучено з насадкою 15 вузла екструзії 8 і містить обладнання для автоматизованого приготування будівельного розчину 10 та пневмотранспортну установку (окремою позицією не позначено), фільтрувальний вузол 11 якої (де суха суміш відділяється від стисненого повітря), сполучено з трубопроводом 12 подачі сухої суміші. Поворотна напрямна 13 підтримує трубопровід 12 подачі сухої суміші. Бак 14 для води змішувального вузла призначено для запобігання потраплянню повітря в напірну магістраль води при заміні джерела підведення води та для зберігання аварійного запасу води для прочистки трубопроводу подачі розчину 9.

Змішувальний вузол встановлено на кінці основної стріли 6, вільному від допоміжної стріли 7.

Напрямна колона 3 виконана просторовою і містить чотири вертикальні напрямні 16, по всій довжині сполучені ребрами жорсткості 17.

Радіальний кабелеукладач 20 забезпечує правильне положення комунікацій при повороті основної стріли 6.

Основа 1 містить х-подібну чотирикінцеву раму 22, на кожному винесеному кінці якої встановлена автоматизована опора 2, з можливістю автоматичного вирівнювання на робочій поверхні.

Кожна опора 2 містить встановлений в корпусі 23 підйомний механізм, що включає кроковий двигун 24, до якого підключено абсолютний енкодер 25, планетарний редуктор 26, сполучений з кроковим двигуном 24, при цьому вал планетарного редуктора 26 сполучено з одним кінцем ходового гвинта 27 виконавчого механізму, який також містить встановлені на редукторі рухому плиту 29 з повзунами 28 та опорну гайку 36, встановлену на фланці 35, який жорстко закріплено в нижній частині корпусу 23. Другий кінець ходового гвинта 27 сполучено з опорною тарілкою 32 за допомогою шарової опори 31. Простір між опорною тарілкою 32 і нижньою частиною корпусу 23 закрито гофрованим захисним кожухом 30. Окрім цього, кроковий двигун 24 сполучено з встановленим окремо блоком керування і обробки інформації (на кресленні не показаний) через провід 34, підключений до електричного роз'єму 33.

Використана особливість крокових двигунів втрачати крутний момент із збільшенням швидкості обертання. При перевищенні крутного моменту при заданій швидкості обертання кроковий двигун перестає виконувати подавані на нього кроки, що відразу фіксує енкодер, який застосовують для визначення положення опори - це так званий "момент спрацювання". На фіг. 5 наведено графік залежності крутного моменту крокового двигуна від швидкості обертання.

Основа 1 використовується наступним чином.

Раму 22, на кожному винесеному кінці якої встановлена автоматизована опора 2 (тобто, всього чотири опори), встановлюють на нерівну робочу поверхню. При цьому одна з пар опор 2 приймає основне навантаження, а інша пара опор 2 навантажена лише частково (одна з опор 2 може взагалі висіти у повітрі). Запускають всі крокові двигуни 24 опор 2 на швидкості, при якій крутного моменту не достатньо для підйому всієї конструкції, але достатньо для рівномірного розподілу навантаження між парами опор 2.

Крокові двигуни 24 пари опор 2, що приймає основне навантаження, відразу починають пропускати кроки, що фіксують енкодери 25, та подають сигнал до мікроконтролера, і подача кроків на цю пару опор 2 припиняється.

Подача кроків на розвантажену пару опор 2 триває до тих пір, поки крокові двигуни 24 цієї пари опор 2 теж не почнуть пропускати кроки. З цього моменту можна вважати, що навантаження між парами опор 2 розподілено рівномірно.

Потім здійснюють установку 3D-принтера в горизонтальне положення на меншій швидкості, при якій можливо підняти пристрій повністю. Точність установки контролюють електронним інклінометром (на кресленні не позначений).

Також 3D-принтер може містити сонцезахисні козирки 21, які встановлені над більшою частиною трубопроводу подачі розчину 9.

Заявлений будівельний 3D-принтер працює наступним чином.

Для забезпечення тривимірного друку насадка 15 вузла екструзії 8 має здійснювати рух в циліндричній системі координат.

Для вертикального руху насадки 15 забезпечують вертикальний рух основної стріли 6 вздовж напрямної колони 3 за допомогою каретки 4.

Для руху насадки 15 радіусом циліндричної системи координат забезпечують поворот одразу основної стріли 6 і допоміжної стріли 7 у горизонтальній площині на однаковий кут в протилежному напрямку.

Для руху насадки 15 по колу забезпечують поворот у горизонтальній площині основної стріли 6. Поворот основної стріли 6 здійснюють за допомогою опорно-поворотного пристрою 5, закріпленого на каретці 4 вузла переміщення.

Екструзію здійснюють за допомогою шнекової пари, що встановлена на обладнанні для автоматизованого приготування будівельного розчину 10 (наприклад штукатурній станції PFT-G4, Knauf, Німеччина), подача якої є пропорційною швидкості обертання вала двигуна, який приводить її в дію. При зупинці друку для холостого переміщення або технологічної паузи вал двигуна зупиняють, а в перетискний клапан подають стиснене повітря, за рахунок чого в трубопроводі 9 подачі розчину зберігають робочий тиск. Друк виконують пошарово із витримкою кожного шару 5...10 хвилин.

За рахунок встановлення обладнання для автоматизованого приготування будівельного розчину 10 змішувального вузла на опорно-поворотному пристрої 5 зі сторони, протилежної основній стрілі, забезпечено мінімальну відстань транспортування розчину по трубопроводу 9 подачі розчину від змішувального вузла до насадки 15 вузла екструзії 8.

Програмно-апаратний комплекс 37 3D-принтера включає головний модуль 38 управління, модуль 46 вирівнювання основи, модуль 51 управління бетонним вузлом (станцією), 60 WEB-інтерфейс, блок 61 логування роботи 3D-принтера.

Головний модуль 38 управління забезпечує рух принтера по заданій траєкторії із заданою швидкістю та прискоренням і містить:

- модуль управління бетонним вузлом (станцією) 51 для обміну даними з електромеханічними

елементами 3D-принтера

- блок 46 обміну та передачі даних між головним модулем 38 управління, модулем 46 вирівнювання основи і модулем 51 управління бетонним вузлом (станцією), валідатором команд керування, блоком 60 збору телеметрії (телеметричної інформації), блоком 61 прийому та передачі даних керуючих послідовностей, вебсервером. При цьому блок 61 прийому та передачі даних керуючої послідовності містить комунікатор 44 з бетонним вузлом, комунікатор 45 з вирівнюванням основи та блок обробки 43 команд керування

Блок 46 обміну та передачі даними підтримує постійний зв'язок між головним модулем 38 управління, модулем 46 вирівнювання основи та забезпечує наступні характеристики 3D-принтера:

- максимальну кількість незалежних осей, якими одночасно може керувати - 5;
- максимальну частоту видачі імпульсів керування - 200 кГц.
- контроль поточного положення принтера по кожній з осей - за допомогою абсолютних енкодерів (мінімальна розрядність - 17 біт), інтерфейс даних - RS485;
- максимальне відхилення реального положення принтера від заданого - 0,1 мм (у будь-якій точці поля друку);
- підтримувані інтерполятором типи кінематики: двосекційна scara, радіальна кінематика у полярних координатах;
- типи підтримуваних інтерполятором 38.2 головного блока 38 управління геометричних примітивів: пряма лінія з друком/без друку, дуги за з друком та без, переміщення за вільною траєкторією у задану точку;

- параметри модуля управління бетонним вузлом (станцією) 51, які можуть налаштовуватися: швидкість руху, максимально допустиме прискорення, мінімально допустимий кут для проходження без зупинки (доступно лише для розробників);

- максимальну кількість блоків, для яких головний модуль 38 управління може вести контроль передачі даних - може бути збільшено до 7-10.

Модуль 46 вирівнювання основи містить блок 50 мануального керування приводами лап та блок 49 автоматичного вирівнювання основи, систему 48 логування та телеметрії та комунікаційний 47 інтерфейс та обмінюється даними з електромеханічними елементами 3D-принтера.

За потреби вирівнювання основи 1, яку визначає користувач (оператор) під час встановлення 3D-принтера на новому місці друку або коригування між циклами друку модуль 46 вирівнювання основи, забезпечує вертикальність колони 3 (утримує відхилення колони від вертикалі у будь-якому напрямку в заданих межах).

Автоматичне вирівнювання колони 3 здійснюється з наступними характеристиками:

- максимальне відхилення колони 3 від вертикального положення після процедури вирівнювання - 0,05°;
- максимальний час вирівнювання колони 3-15 хв.

Модуль 40 управління бетонним вузлом (станцією) містить: блок 56 керування подачею сухої суміші, блок 58 мануального керування подачею води, блок 59 автоматичного регулювання об'єму води в бетонній та розчиновій суміші, блок 55 керування заслінкою, блок 54 керування замішуванням та подачею розчину, блок 57 сервісним керуванням допоміжними вузлами, систему 53 логування та телеметрії модуля управління бетонним вузлом (станцією) та комунікаційний 52 інтерфейс модуля управління бетонним вузлом (станцією).

Модуль 51 управління бетонним вузлом (станцією) забезпечує автоматизований та мануальний контроль та регулювання параметрів подачі сухої суміші будівельної, води та замішування й подачі бетонної та розчинової суміші, що сприяє стабільності технологічного процесу, зокрема:

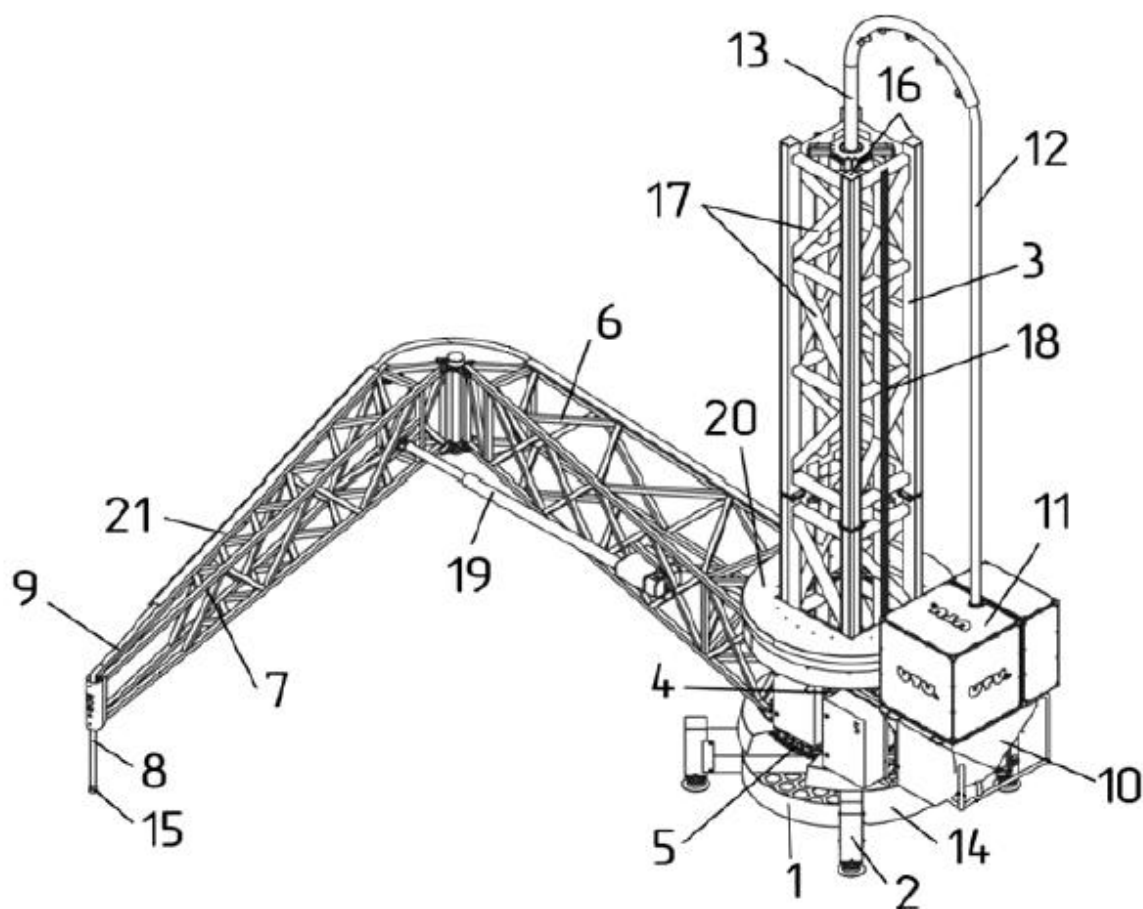
- блок 58 контролює параметри подачі води в суміш у діапазоні 10-90 %, що визначається як об'єм води (мл) на 1 л суміші,
- блок 56 керування подачею сухої суміші активує та деактивує двигун подачі сухої суміші та бункер змішувача відповідно до заданих параметрів процесу;
- блок 59 забезпечує динамічне коригування об'єму подачі води залежно від швидкості подачі суміші, що забезпечує стабільність її консистенції та фізико-механічних властивостей,
- блок 54 визначає та встановлює режим роботи бетонного вузла: Ручний режим - оператор вручну налаштовує параметри подачі, Автоматичний режим - система здійснює адаптивне регулювання пропорційності подачі сухої суміші та води для забезпечення оптимальної консистенції,
- блок 55 забезпечує автоматизоване відкриття та закриття заслінки для регулювання потоку бетонної суміші у бетонопроводі,
- блок 57 забезпечує контроль параметрів замішування та подачі суміші - вимірюється та регулюється швидкість обертання шнека подачі суміші в діапазоні 0-400 об./хв;
- блок 53 забезпечує моніторинг параметрів у реальному часі та безперервний контроль ключових технологічних параметрів з можливістю оперативного коригування, реалізацію алгоритмів калібрування подачі води для підвищення точності дозування та забезпечення стабільності якості бетонної суміші.

За допомогою WEB-інтерфейсу 60 користувач отримує актуальні дані про стан принтера через комунікаційні протоколи WebSocket або SignalR, що забезпечують двосторонній обмін даними в реальному часі. Користувач має змогу надсилати команди для зміни параметрів друку, таких як швидкість, прискорення, подачу суміші тощо, використовуючи API-запити або WebSocket-повідомлення для моментального впливу на роботу принтера.

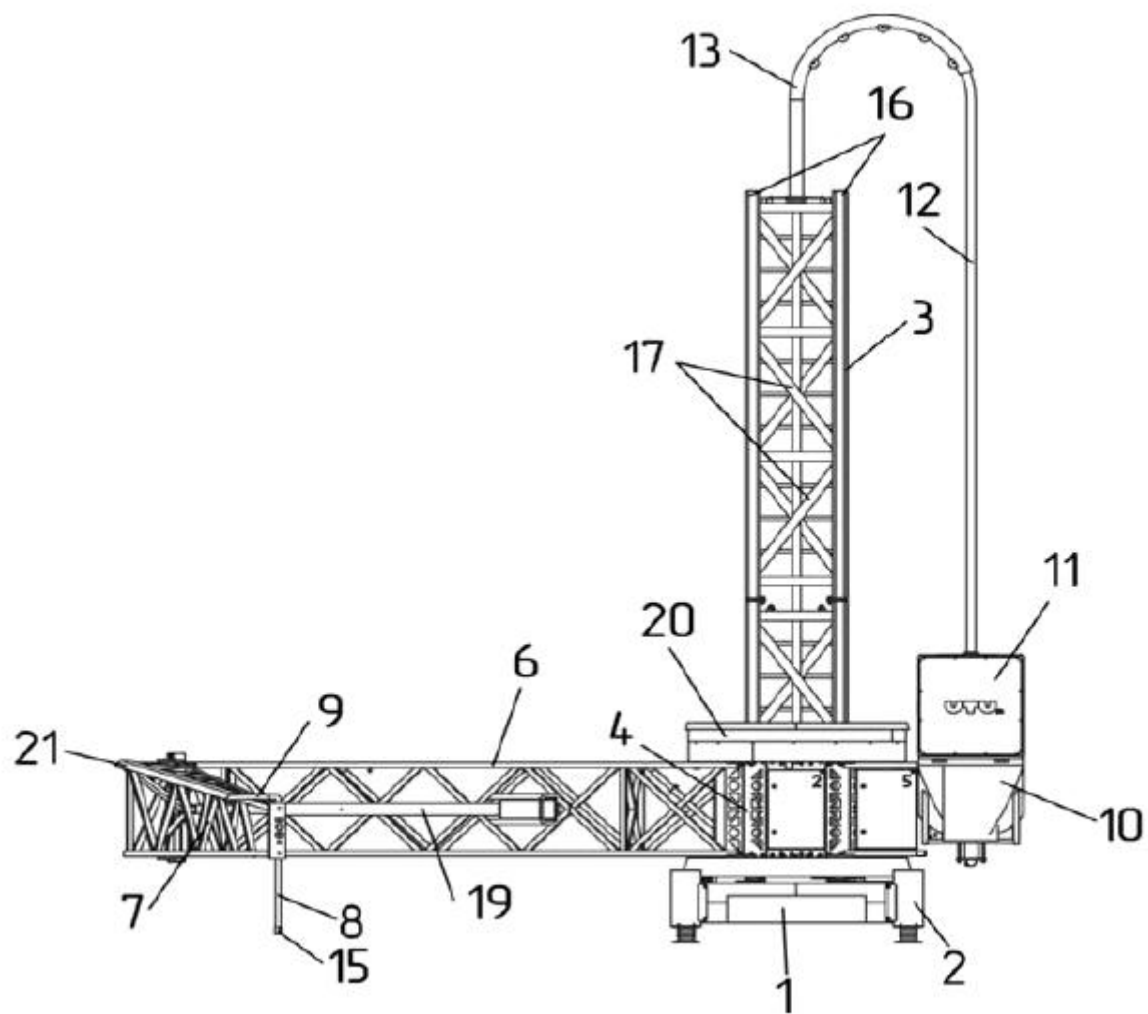
Отримані дані про положення принтера (наприклад координати осей) обробляються системою і передаються на вебсторінку, де за допомогою Three.js відображається рухома 3D-модель принтера, що дає користувачу можливість спостерігати за процесом друку в реальному часі.

Блок 61 логуювання роботи принтера забезпечує ведення журналу, який включає запис всіх виконаних команд керування для подальшого аналізу, запис логуювання всіх змін налаштувань (швидкість, прискорення, пропорції суміші), фіксацію важливих подій, включаючи помилки та аварійні стани.

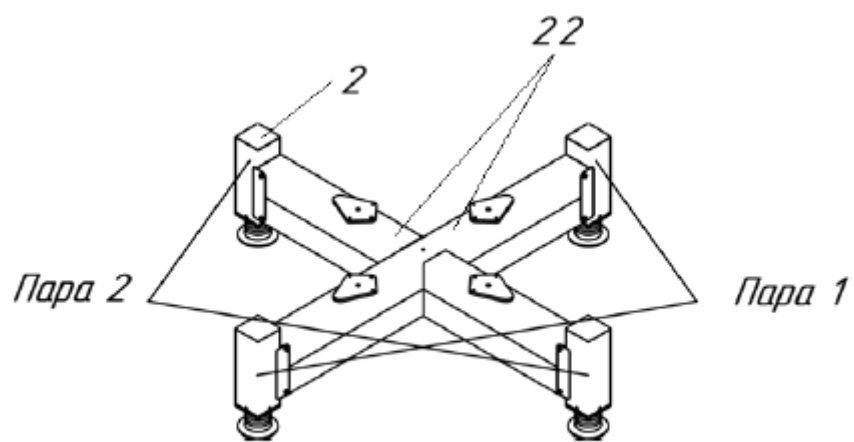
Корисна модель забезпечує суттєве зменшення масо-габаритних показників пристрою (у співвідношенні до робочої площі), спрощення експлуатації, підвищення енергетичної ефективності, екологічності, підвищення стабільності розчину, спрощення коригування його консистенції, зменшення кількості відходів, можливості оперативно керувати процесом та якістю 3D-друку за рахунок автоматизації.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

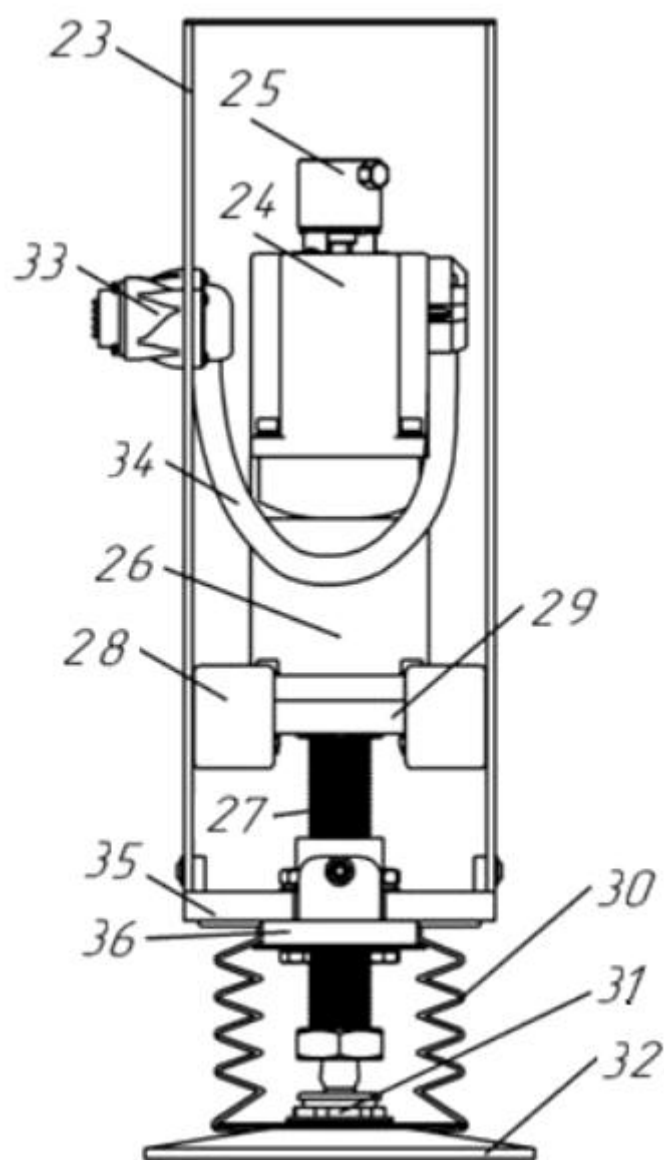


Fig. 4

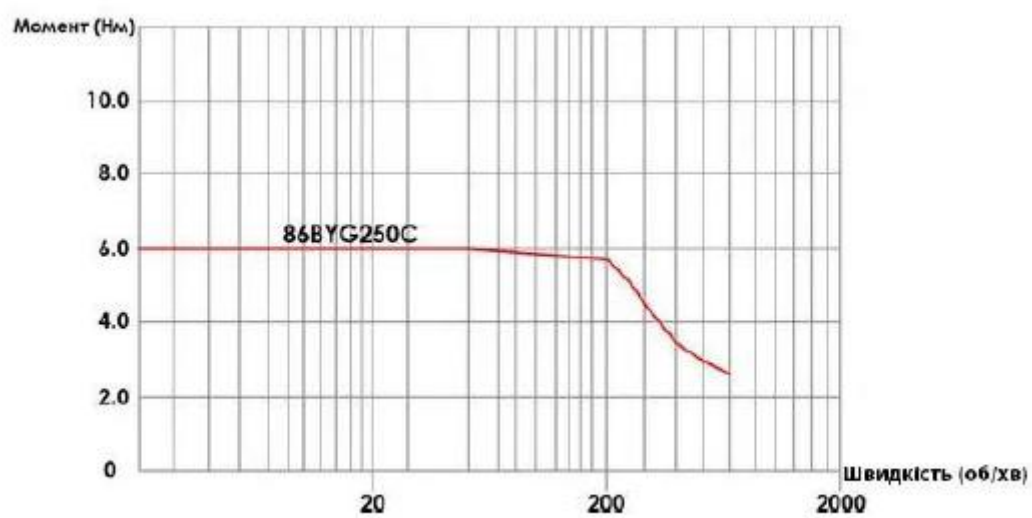


Fig. 5

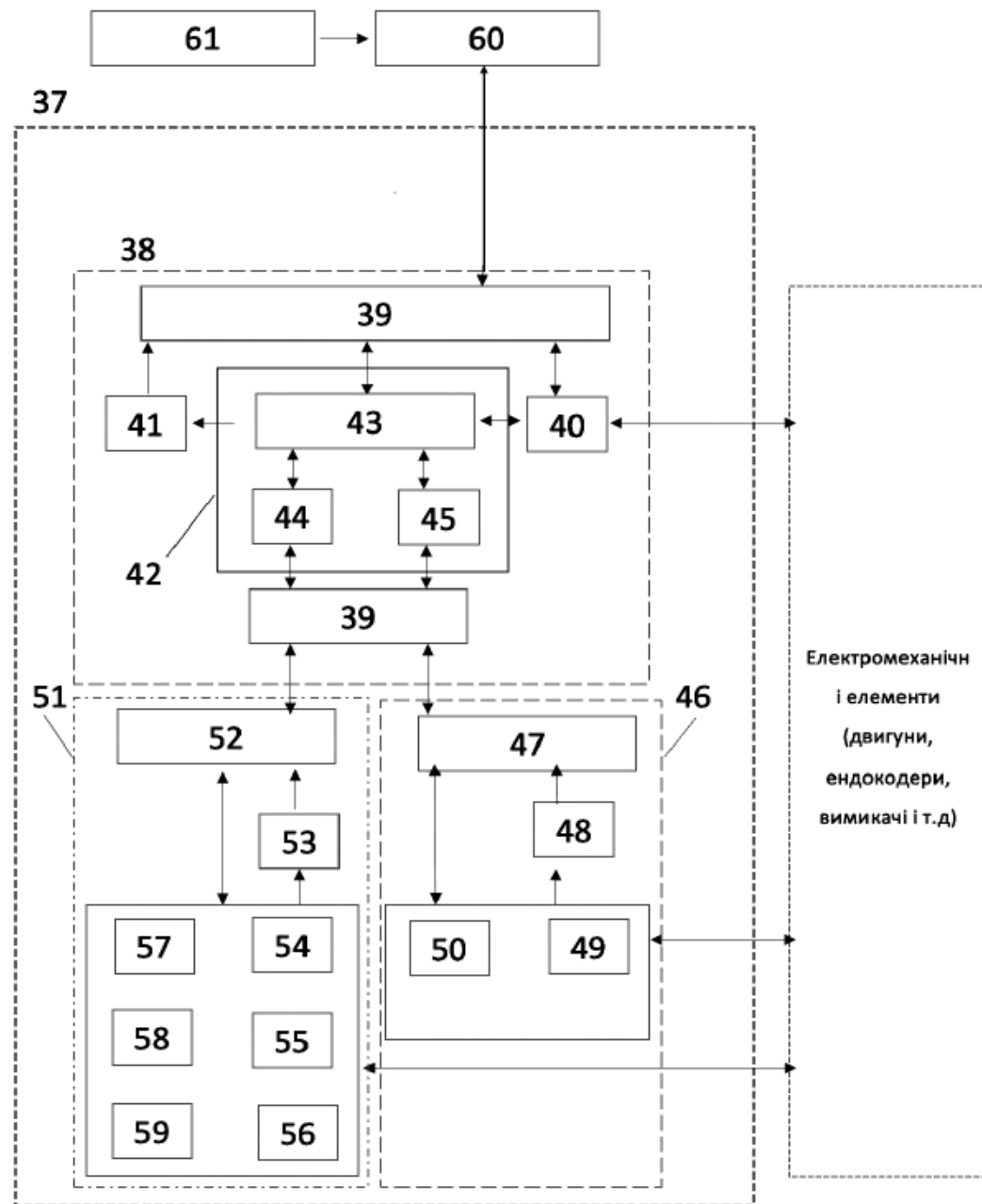


Fig. 6

38

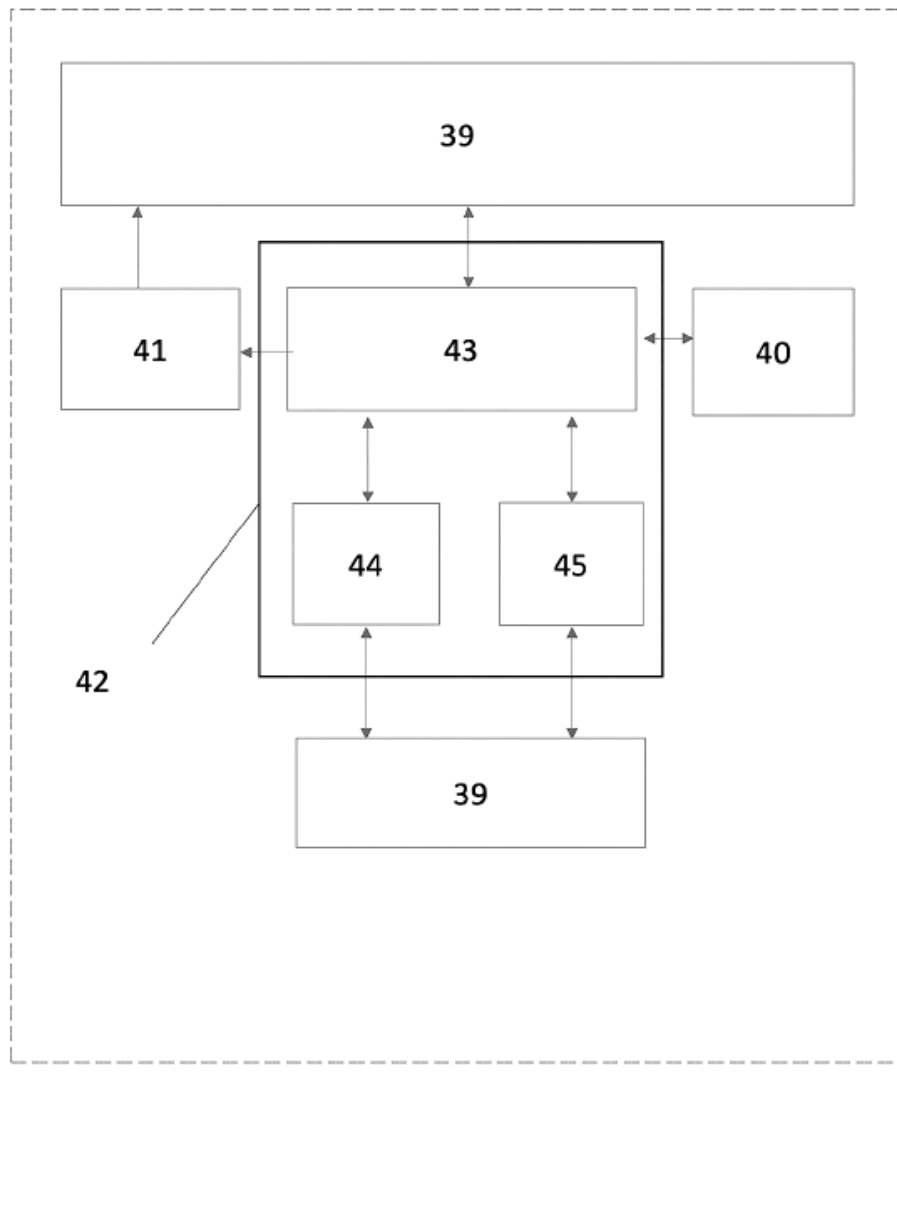


Fig. 7

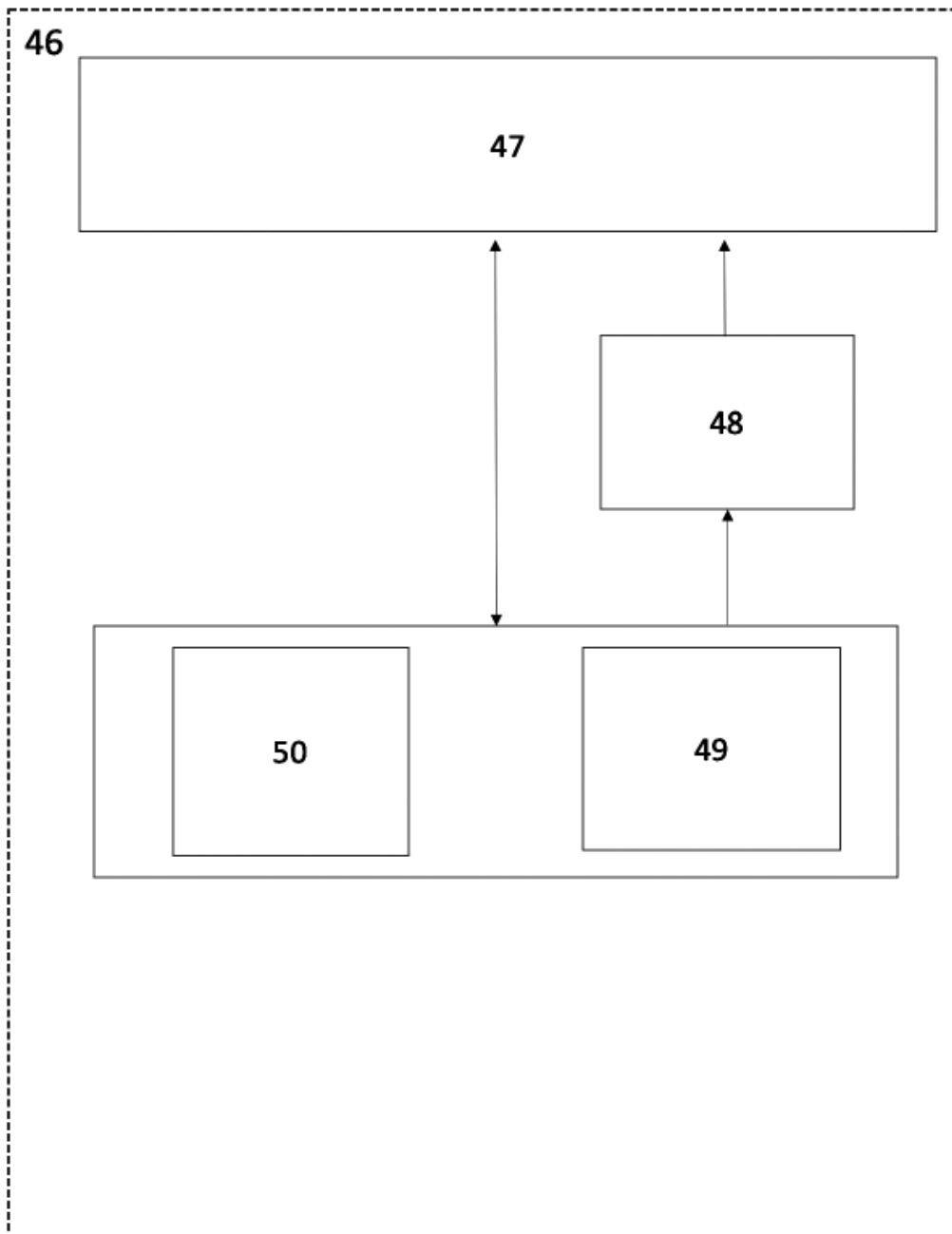
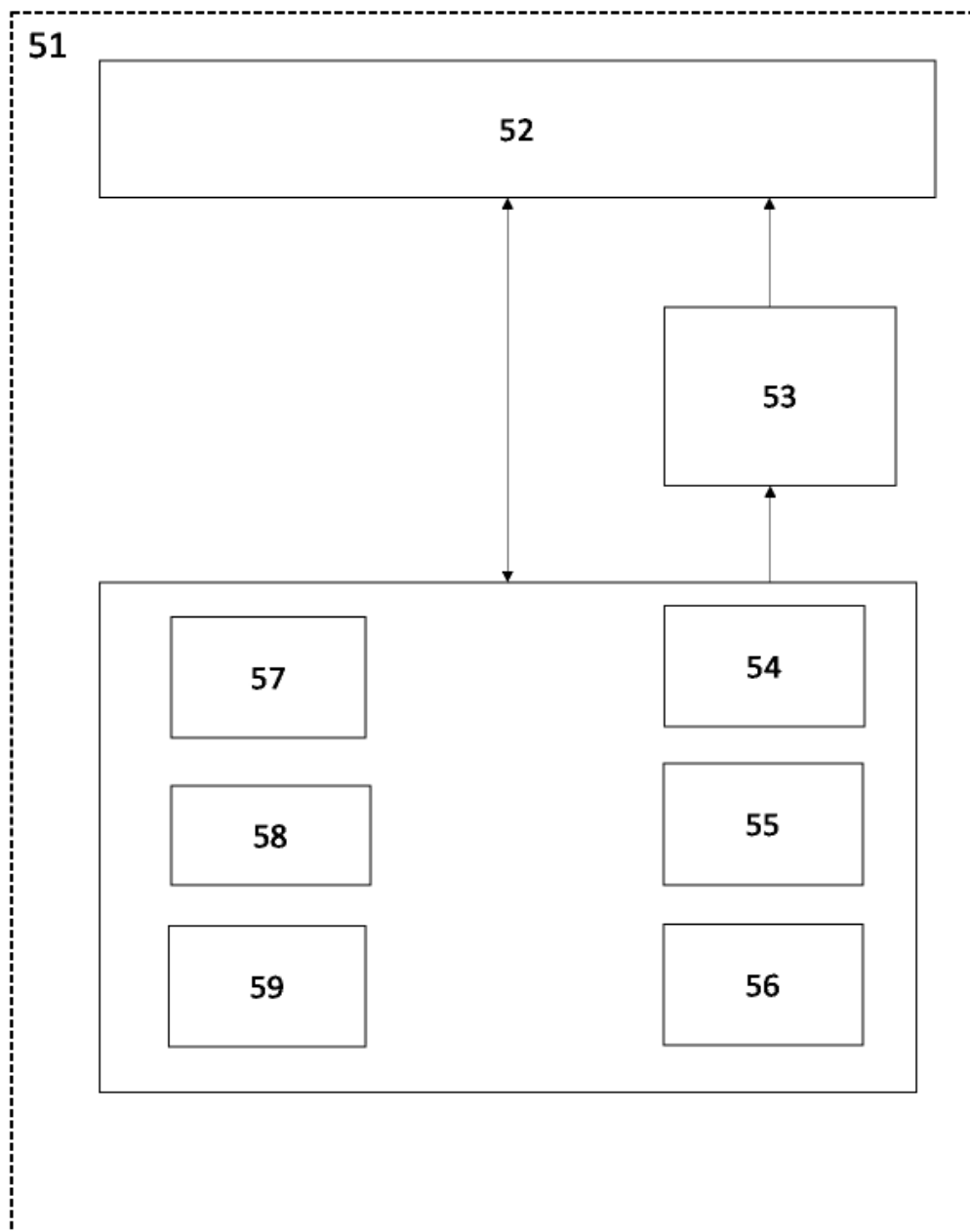


Fig. 8



Φir. 9