

## МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МАНІПУЛЯТОРА ЗАСОБАМИ SOLID WORKS

К.т.н. В.І. Роменський, К.А. Ель-Хурі, І.А. Бохвалов, Харківський національний університет радіоелектроніки

*У статті приведено результати моделювання покращеної конструкції промислового робота-маніпулятора з урахуванням його інтелектуалізації. Проведено вибір прототипу моделювання та засобів інтелектуалізації конструкції, а також розроблено 3D-модель інтелектуального маніпулятора методом витягування, на базі якої і проводилось дослідження.*

*В статті приведені результати моделювання удосконаленої конструкції промислового робота-маніпулятора з урахуванням його інтелектуалізації. Проведен вибір прототипу моделювання і засобів інтелектуалізації конструкції, а також розроблена 3D-модель інтелектуального маніпулятора методом витягування, на базі якої і проводилось дослідження.*

*The article presents the results of simulation industrial robot-manipulator improved design, taking into account its intellectualization. The choice of the modeling prototype and the means of intellectualization, and a 3D model of the intellectual manipulator was developed using the method of extraction, on the basis of which the research was conducted.*

**Ключові слова:** маніпулятор, захватний пристрій, інтелектуалізація, кінематична схема, моделювання, Solid Works

### Вступ

Сучасна промисловість та виробництво повинні забезпечувати максимальну якість кінцевої продукції та ефективність процесів її виготовлення. Таким чином, чим вище вимоги до якості продукції, що випускається, тим актуальніше стає впровадження сучасних технологій. Підприємства впроваджують роботизовані системи у виробництво в першу чергу для збільшення прибутку за рахунок скорочення робочої сили. На них працює мінімум робітників, що забезпечує низьку собівартість продукції, яка випускається [1]. В Україні застосування роботизованих пристроїв поки що обмежене, а застаріле обладнання на підприємствах призводить до зменшення ефективності на виробництвах. Розширення кількості та сфер застосування промислових роботів дозволило б працювати їм швидше та продуктивніше, та реалізувати процеси, на виконання яких не спроможна людина [2].

В наш час автоматизовані пристрої для роботи на промислових підприємствах різноманітних галузей представлені в широкому асортименті. Роботи успішно використовуються в металургії, приладобудуванні, легкій та харчовій промисловості і т. д. Вони здатні замінити людину у важких та небезпечних умовах праці та мають високу швидкість, точність, якість, а також високу окупність.

Щоб дозволити повністю автоматизувати будь-яке виробництво та підвищити ефективність і якість продукції необхідно інтелектуалізувати промислові маніпулятори, оснастити їх різноманітними датчиками сенсебілізації, контролю і т.д. Це дозволить реалізувати систему прийняття рішень у процесах їх керуванням в залежності від отриманих даних з датчиків без безпосередньої участі людини, на основі програми управління.

Повністю розроблювати нову конструкцію робота, з точки зору економіки, не вигідно, отже необхідно вдосконалення конструкції захватного пристрою засобами інтелектуалізації. Аби досягти вдосконалення моделі захватного пристрою на початковому етапі виробництва використовуються сучасні CAD/CAM/CAE, до яких належить і програмний комплекс SolidWorks.

### Вибір прототипу моделювання та засобів інтелектуалізації конструкції

Для інтелектуалізації та подальшого моделювання маніпулятора за основу конструктивних рішень обрано маніпулятор FANUC S-430iF, що має 4 ланки та шість ступенів рухливості [3]. Перша ступінь рухливості – колона. Двигун 1-го ступеня рухливості встановлений в кожусі поза нижньої частини колони. Друга ступінь рухливості – плече. Двигун встановлений в задній частині ланки між плечем і ліктем. Третя ступінь рухливості – лікоть. Двигун 3-го ступеня рухливості розміщений поруч з двигуном 2-го ступеня рухливості між плечем і ліктем. 4, 5 і 6 ступеня рухливості – кисть. Двигуни розміщені в передпліччя біля ліктя. Четверта ступінь рухливості – обертання кисті. П'ята ступінь рухливості – качання кисті. Шоста ступінь рухливості – обертання фланця кисті. Кінематична схема зазначеного маніпулятора, що полягає в основу подальшого моделювання, зображена на рис. 1.

Кінематична модель маніпулятора представляє собою модель, в якій положення і орієнтація робочого органу є фіксованим відношенням системи координат до основи маніпулятора, відносно їхніх спільних координат (кутові координати для обертальних з'єднань) [4-7]. Це представлено наступним виразом:

$$x = f(\theta), \quad (1)$$

де  $\theta$  – вектори кутових положень для суглобів  $\theta = \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ ;

$x$  – положення, де перші три члена позначають декартову позицію, а останні три означають координацію кінцевого робочого органу,  $x = X, Y, Z, \theta, f$ .

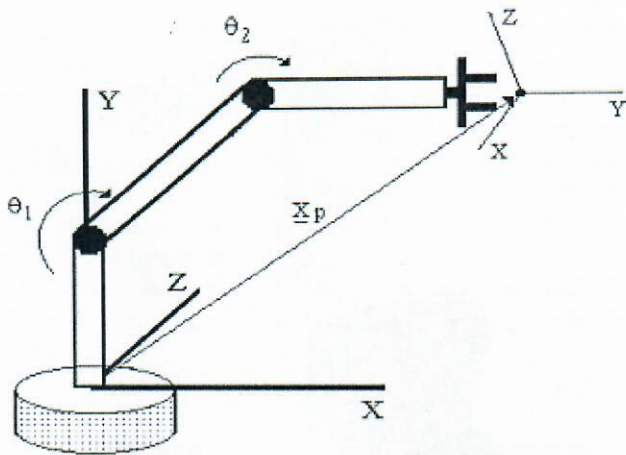


Рис. 1. Кінематична схема маніпулятора FANUC S-430iF

Для того щоб інтелектуалізувати маніпулятор в конструкції захватного пристрою пропонується використовувати гіроскоп з платою управління, два тактильних датчика, датчик тиску [8,9].

Гіроскоп з платою управління використовується для того, щоб підвищити точність маніпулятора за рахунок стабілізації при переміщенні.

Два тактильних датчика будуть використовуватися на внутрішній стороні захвату для визначення наявності об'єкта у захваті (рис. 2). За рахунок того, що вони розташовуються не на кінці пальців, а на фаланзі, це дозволить збільшити їх термін служби. Оскільки контакт чуттєвого елемента датчика з об'єктом роботи відбувається відразу в багатьох точках, то виникає можливість визначення форми об'єкту, його орієнтації, а також напрямку можливого просковзування.

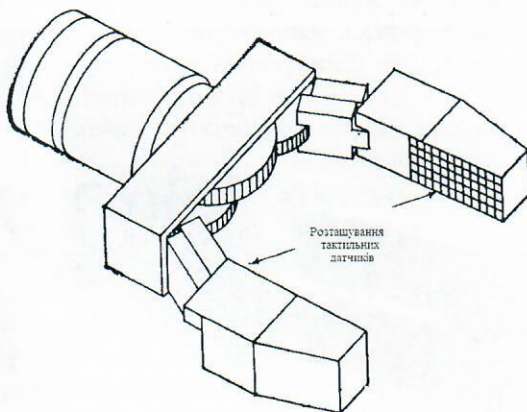


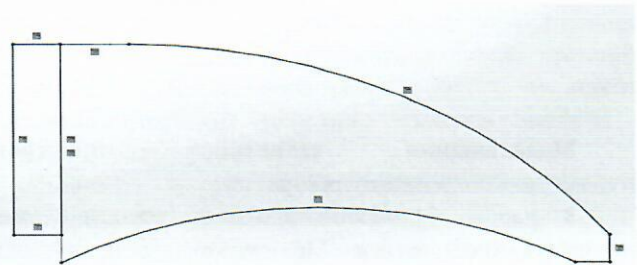
Рис. 2. Розташування тактильних датчиків на захватному пристрої

Датчик тиску повітря в пневмосистемі використовується для того щоб контролювати тиск у приводі, який приводить в дію захватний пристрій.

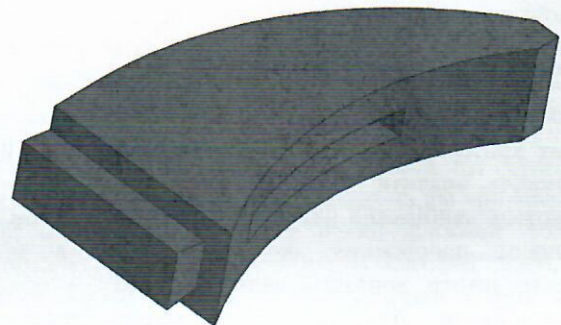
### Розробка 3D-моделі інтелектуального маніпулятора методом витягування

Відповідно до наведеної кінематичної схеми та засобів сенсоризації конструкції захватного пристрою засобами SolidWorks – системи гібридного параметричного моделювання, яка призначена для проектування деталей і збірок в тривимірному просторі з можливістю проведення різних видів експрес-аналізу, а також оформлення конструкторської документації відповідно до вимог ЄСКД [10], виконано розробку 3D-моделі інтелектуального маніпулятора методом витягування.

Проектування захватного пристрою інтелектуального маніпулятора починалось зі створення 2D-ескізів кожних із деталей, які надалі входять до збірки. З початкових 2D ескізів методом витягування отримано 3D моделі елементів збірки конструкції. Результати розробки однієї з деталей збірки – пальців захвату, приведено на рис. 3.



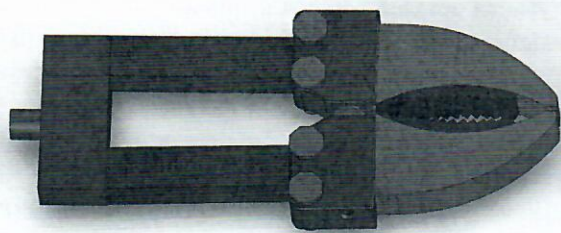
а



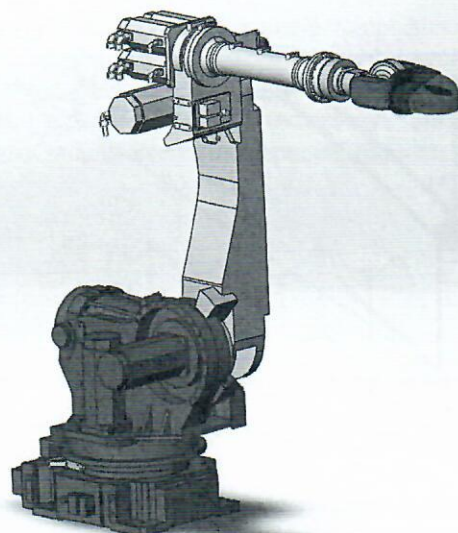
б

а – 2D ескіз; б – 3D моделі елемента, отримана за ескізом  
Рис. 3. Розробка елемента збірки конструкції маніпулятора

Аналогічним чином розроблені все необхідні елементи конструкції, з яких, відповідно до послідовності, яка властива реальному фізичному об'єкту, виконана збірка конструкції захватного пристрою та маніпулятора (рис. 4).



а



б

а – збірка захватного пристрою; б – збірка інтелектуального маніпулятора

Рис. 4. Результати збірки

### Моделювання захватного пристрою інтелектуального маніпулятора

З часом будь-який захватний пристрій має властивість зношуватися. Маніпулятор, який взято в якості основи, мав інший тип захвату, а також здатність піднімати вантаж вагою до 135 кг. У зв'язку з тим, що для нашого інтелектуального маніпулятора застосовано зовсім інший тип захвату, з'явилася необхідність промоделювати новий захватний пристрій з різним навантаженням, щоб наглядно продемонструвати, що даний маніпулятор, не тільки став більш універсальним, завдяки своєму захвату, а й залишився надійним, в такому критерії, як зносостійкість. Моделювання надає можливість виявити області захватного пристрою, що піддаються найбільшій напрузі і деформації. Також стає можливим простежити, що відбувається в місцях безпосереднього контакту пальців захвату з об'єктом маніпулювання. Для проведення цього дослідження використовувався модуль SolidWorks Simulation. В якості матеріалу схвату обрано алюміній, що обумовлено його легкістю, невисокою ціною та поширеністю застосування у конструкціях такого типу.

Моделювання проводилось з прикладеною силою 1000Н, 1200 Н і 1600 Н (табл. 1).

Отримані результати моделювання дозволяють виділити ділянки конструкції, в яких матеріал є стійким при заданій силі натискання, ділянки, які піддаються розтягуванню, але не доходять до руйнування, та ділянки, які будуть найбільш навантаженими з кожним натисканням, так як напруга більше допустимої для даного матеріалу. Приклад моделювання конструкції захватного пристрою при прикладенні сили у 1000 Н представлено на рис. 5.

Таблиця 1

Результати моделювання конструкції захватного пристрою

Сила, Н	Матеріал	
	Сплав алюмінію (1060)	
	Границя плинності 1250000000	
	Напруга, $\frac{H}{M^2}$	Деформація, м
1000	1150500864	0,032
1200	1211275008	0,038
1600	1473228160	0,045

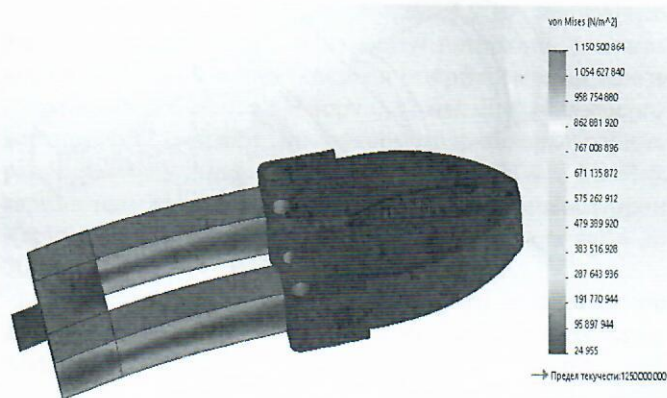


Рис. 5. Розподіл напруги при навантаженні 1000 Н

В рамках роботи проведено статичний розрахунок окремо для конструкції пальців, для отримання граничного значення напруги при заданій прикладеній силі.

Побудувавши деталізовану сітку високої точності, провели моделювання, яке показало, що найбільша напруга на даній конструкції має значення 8,170·10<sup>7</sup> (Н/м<sup>2</sup>), і знаходиться в області кріплення резинових накладок (рис.6).

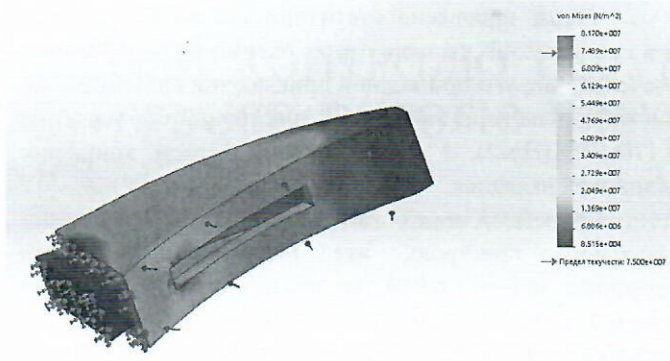


Рис. 6. Отримані результати розподілу напруги

При проведенні моделювання запасу стійкості коефіцієнт запасу показав співвідношення максимальних напружень за критерієм *von mises* в порівнянні з границею плинності матеріалу. Критерій *von mises* відображає те, що пластичний матеріал починає пошкоджуватися в місцях, де напруга по *mises* стає рівним граничній напрузі.

У більшості випадків, границя плинності використовується в якості граничної напруги. Однак, програма SolidWorks дозволяє використовувати граничне розтягування або ставити свою власну граничну напругу. З отриманих результатів (рис.7) бачимо, що мінімальний коефіцієнт запасу 0,918, що є достатнім для деталі даної складності і обраного матеріалу.

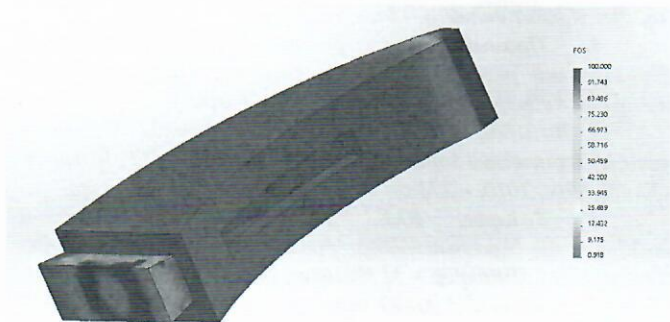


Рис. 7. Моделювання запасу стійкості

Наступний аналіз складався з моделювання конструкції на зносостійкість, який покаже скільки циклів роботи витримає спроектований захватний пристрій з заданим навантаженням 100 кг.

Оптимальні найбільш використовувані конструкції захватних пристроїв витримують мінімум 10000 циклів при навантаженні 100 кг. Втомний аналіз дозволить визначити скільки відсотків свого «життя» витрачає конструкція і на яких ділянках конструкції відпрацював обраний матеріал.

Моделювання проводилось з урахуванням повного навантаження. Це означає, що прикладена нами сила 1000 Н спочатку діє в заданому напрямку, а потім в протилежному в повторенні 100000 циклів.

З урахуванням того, що у кожного матеріалу існує свій модуль втоми, при заданні матеріалу для даної конструкції було отримано криву втоми з коефіцієнтами напруги на певних циклах (рис. 8).

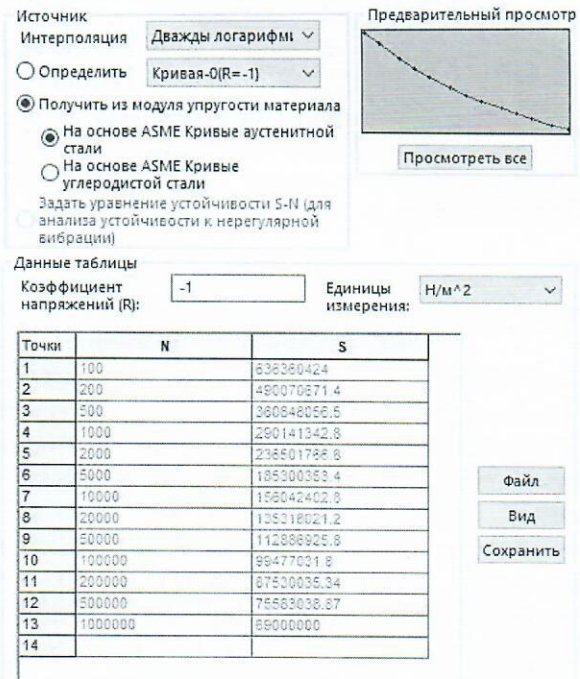


Рис. 8. Крива втоми сплаву алюмінію

В ході проведення моделювання були отримані результати: пошкодження при заданому циклі роботи і термін служби. Результати «пошкодження» показали (рис. 9), що деякі ділянки конструкції проіснували 36,090% даного терміну служби.



Рис. 9. Результати моделювання «пошкодження»

З результатів моделювання «термін служби» можливо відзначити (рис. 10), що найслабші ділянки втомної деформації будуть з'являтися через 277088,583 циклів навантаження і розвантаження при 1000 Н, що задовольняє вимогам до заданої деталі, тому можна зробити висновок що дана конструкція із заданим навантаженням прослужить необхідний термін служби.

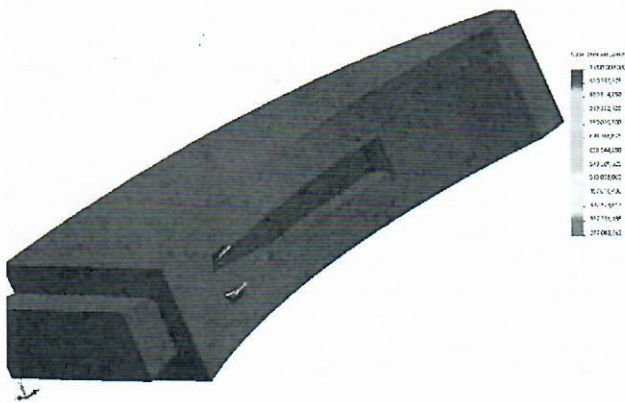


Рис. 10. Результаты моделирования «термин службы»

Проаналізувавши отримані результати моделювання для двохпальцевого захватного пристрою для інтелектуального маніпулятора з заданим навантаженням 100 кг, можна зробити висновки, що розроблена конструкція відповідає вимогам і характеристикам, що пред'являються до даного типу маніпуляторів. Деформація конструкції захватного пристрою відповідає граничним значенням, що дозволяє досягти необхідних значень в області надійності при великих навантаженнях і збільшити термін служби.

**Висновки**

Результатом проведеного дослідження в рамках цієї роботи стала удосконалена модель маніпулятора FANUC S-430iF завдяки розробці нового захватного пристрою з використанням різноманітних датчиків, що дозволило інтелектуалізувати маніпулятор. Проведено моделювання розробленого захватного пристрою на розподіл напруги та деформацію. В ході моделювання використовувалось різне значення навантаження 1000 Н, 1200 Н і 1600 Н, яке показало що при силі навантаження 1000 Н та 1200 Н максимальне значення напруги не перевищує границю плинності сплаву алюмінію (1060) у 1250000000. При навантаженні у 1600 Н максимальне значення напруги – 1473228160 і деформації складає 0,045, отже при роботі із такою вагою захватний пристрій швидше буде руйнуватися, проте виходячи з вимог значення 1200 Н та 1600 Н перевищують значення вантажопідйомності захватний пристрій до 135 кг, що вказує на те, що розроблений захватний пристрій задовольняє вимоги щодо зносостійкості та витримує мінімум 10000 циклів при навантаженні у 100 кг.

Також проведено статичний розрахунок окремо для конструкції пальців, для отримання граничного значення напруги при заданій прикладеній силі показало, що найбільша напруга на даній конструкції має значення 8,170•10<sup>7</sup> (Н/м<sup>2</sup>), і знаходиться в області кріплення резинових накладок.

Проведено моделювання запасу стійкості пальців захватного пристрою, яке показало мінімальний коефіцієнт запасу у 0,918, що достатньо задовольняє для деталі даної складності і обраного матеріалу. Проведено моделювання конструкції на зносостійкість, яке показало, що найслабші ділянки втомної деформації будуть з'являтися через 277088,583 циклів навантаження і розвантаження при 1000 Н, що задовольняє вимогам до заданої деталі, тому можна зробити висновок що запропонована конструкція із заданим навантаженням прослужить необхідний термін служби.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Невлюдов, І. Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації [Текст] / І. Ш. Невлюдов. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2017р. – 444 с.
2. Эль-Хури, К.А. Актуальность разработки универсального переходника для различных захватных устройств промышленного робота [Текст] / К.А. Эль-Хури // «ТАК»: телекоммуникації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології: зб. доповідей Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених, 29-30 листопада 2016 р. / ДВНЗ «ДонНТУ»; відп. ред. Г.В. Ступак. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2016. – 288 с.
3. Fanuc [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://www.fanuc.eu/ua/ru> – Загл. з екрану.
4. Промышленные роботы и манипуляторы [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: [http://tmm-umk.bmstu.ru/lectures/lect\\_20.html/](http://tmm-umk.bmstu.ru/lectures/lect_20.html/). – Загл. з екрану.
5. Козырев, Ю.Г. Промышленные роботы. Основные типы и технические характеристики. [Текст] / Ю.Г. Козырев. – М.: КноРус, 2010. – 273 с.
6. Козырев, Ю.Г. Захватные устройства и инструменты промышленных роботов : Учебное пособие [Текст] / Ю.Г. Козырев. – М.: КноРус, 2016. – 448 с.
7. Иванов, А.А. Основы робототехники: Учебное пособие [Текст] / А.А.Иванов. – Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е.Алексеева, 2011. – 200 с.
8. Юревич, Е. И. Сенсорные системы в робототехнике : Учебное пособие [Текст] / Е. И. Юревич. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 100 с.
9. Тактильные датчики [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <https://referat.ru/referat/taktilnye-datchiki-1441/>. – Загл. з екрану.
10. SolidWorks – стандарт трехмерного проектирования [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://sapr.ru/article/6733/>. – Загл. з екрану.