

Применение «облачных» технологий при проведении научных исследований (по вопросам аффилиации и ссылок на статью обращайтесь по электронной почте bremsemaster@yandex.ru)

В последние годы в сфере автомобильного транспорта наблюдается внедрение функции беспилотного вождения автомобиля, различных опций помощи водителю и становление класса электромобилей. Всё это происходит параллельно с развитием информационных технологий, используемых при реализации упомянутых возможностей транспортных средств, в частности, имеет место интенсивное развитие информационных технологий в сфере машинного обучения. Наиболее успешными в данной сфере являются распознавание речи, изображений и машинный перевод текстов.

Информационные технологии в автомобильной промышленности применяются не только для беспилотной реализации функций автомобиля, но и при проектировании новых моделей, в частности, с помощью специализированных программ проводится анализ нагрузок на элементы кузова.

В рамках приведенного ниже исследования была проводилась оценка применимости современных информационных технологий для создания автоматизированной системы проектирования элементов пневмопривода автомобиля и создания автоматизированной инфографики по результатам исследований.

С целью проверки применимости «облачных» сервисов для создания автоматизированной системы проектирования был сформирован набор данных (датасет) из серии научных экспериментов по исследованию динамики пневматического тормозного привода в режиме истечения воздуха, находящегося под давлением, из фиксированного объема конечного элемента.

Для получения данных широкого диапазона были определены переменные факторы измерительной схемы (см. рис. 1):

- давление в ресивере питания;
- длина соединительного трубопровода;
- диаметр соединительного трубопровода;
- объем конечного элемента (ресивера).

Методика проведения эксперимента по формированию набора данных.

1. Собрать измерительную схему, включающую тестовый стенд (см. рис. 1), соединительный трубопровод (внутренний диаметр трубки – 4, 6, 8, 9 мм; наружный диаметр трубки – 6, 8, 10, 12 мм; длина трубопровода – 5, 8, 10 м) и конечный элемент (объем – 7, 2 л).

2. Подключить измерительную схему к аналогово-цифровому преобразователю и персональному компьютеру.

3. Подключить через соединение «e» к тестовому стенду компрессор. Создать в ресивере питания давление (0,4 или 0,85 МПа).

4. Подключить электрическое питание к разъему «24 в».
5. Активировать орган управления «а».
6. Дождаться стабилизации значений давления на датчиках «д».
7. Включить запись параметров давления с датчиков «д» в интерфейсе работы с АЦП на ПК.
8. Деактивировать орган управления «а».
9. Дождаться стабилизации значений давлений на датчиках «д». Остановить запись параметров АЦП и сохранить результаты измерений.
10. Изменить типоразмер соединительного трубопровода и/или объем конечного элемента и повторить действия с п. 3.
11. При измерении динамики по всем значениям факторов окончить эксперимент.

Таблица полученного датасета доступна по ссылке <https://yadi.sk/i/ADE3yVgKEOVgtA>, и в данной статье не приводится.

Оценка применимости «облачных» технологий при проведении научных исследований велась в два этапа:

- 1) Анализ данных с помощью искусственного интеллекта с определением модели регрессии при помощи сервиса обучения искусственного интеллекта с применением пользовательских табличных данных AI MS Azure [2].
- 2) Построение инфографики результатов экспериментов с использованием Yandex Data Lens [3].
- 3) При проведении первого этапа эксперимента по использованию машинного обучения в научных целях была обучена регрессионная модель прогнозирования на 95% данных (см. рис. 2 – 4). Для получения прогнозируемых результатов по обученной модели использовался тестовый режим ее проверки (рис. 5).
- 4) Кроме того, было проведено сравнение эмпирических данных с результатами, спрогнозированными по модели, а также с результатами, рассчитанными по классической методике обработки данных [1] с применением расчетной схемы «Полость с дросселем на выходе» (рис. 6).

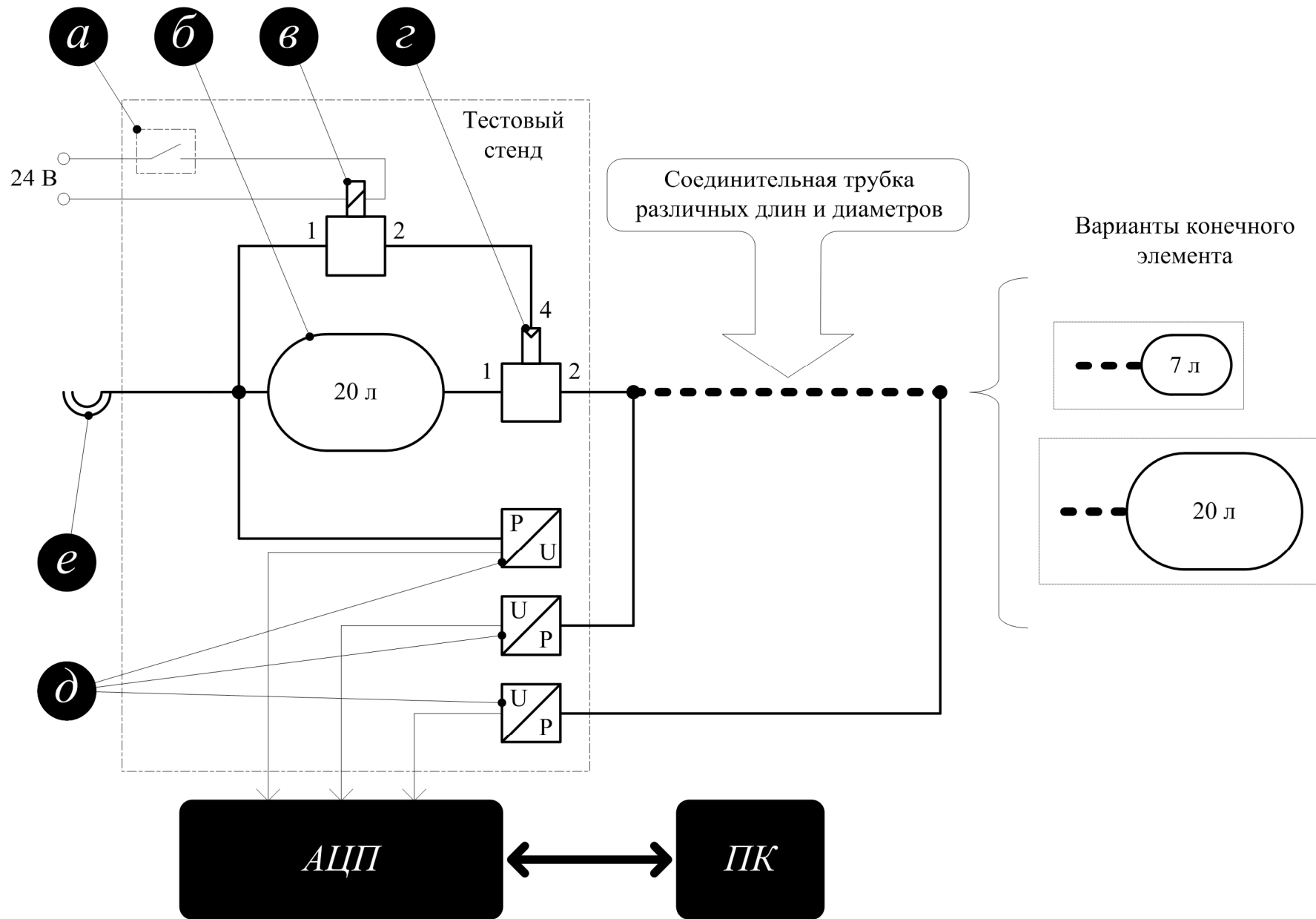


Рис. 1. Измерительная схема проведения эксперимента с использованием специализированного стенда:
a – орган управления электромагнитным клапаном; *б* – ресивер питания пневмопривода измерительного стенда; *в* - соленоид управления подачей воздуха; *г* – ускорительный клапан подачи воздуха; *д* – датчики давления; *е* – подключение к стационарному компрессору; *АЦП* – аналогово-цифровой преобразователь; *ПК* – персональный компьютер.

Experiment settings

Data source

Prediction

Prediction settings

Prediction type

Optionally change the type of prediction based on the data in your prediction column.

Binary classification Classify data into categories. Choose this if your prediction column contains two distinct categories.	Multiclass classification Classify data into categories. Choose this if your prediction column contains multiple distinct categories.	Regression ✓ Predict values from a continuous set of values. Choose this if your prediction column contains a large number of values.
--	---	---

Optimized metric

Choose the metric to optimize for the experiment.

Root Mean Squared Error (RMSE) (Recommended) ✓
Mean Squared Error (MSE)
Mean Absolute Error (MAE)
Median Absolute Error (MedAE)
Root Mean Squared Log Error (RMSLE)
Mean Squared Log Error (MSLE)
Explained Variance

Cancel

Save and close

Рис. 2 – Интерфейс выбора метода построения модели прогнозирования

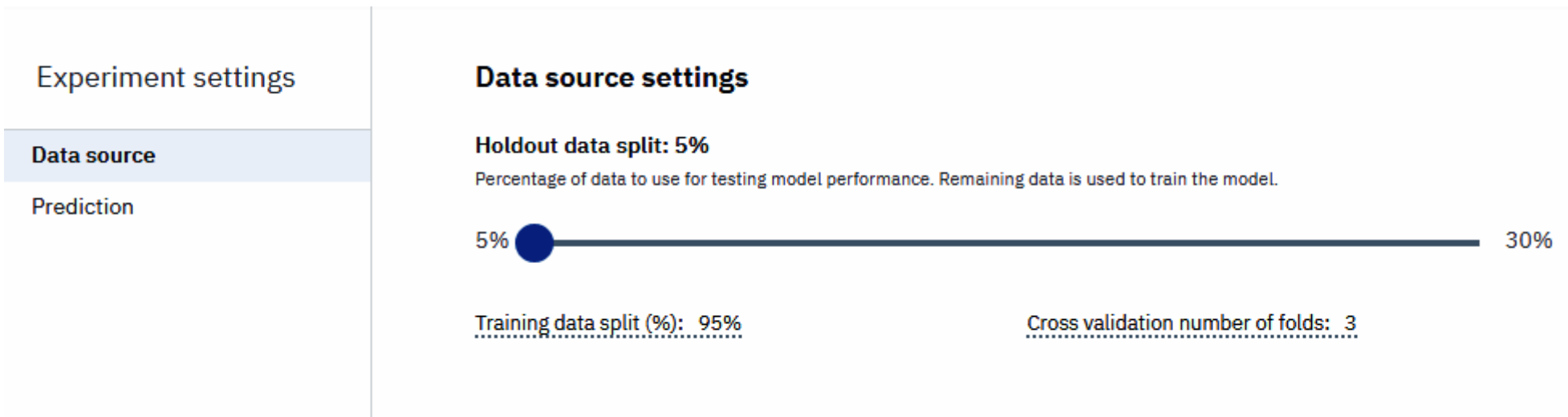


Рис. 3 – Интерфейс настройки разделения данных на категории обучения и проверки модели

Pipeline leaderboard

[Compare pipelines](#) Ranking based on: Root Mean Squared Error (RMSE) (Optimized) ▼

Rank	Name	Estimator	RMSE	Enhancements	Build time
> ★ 1	Pipeline 3	Gradient boosting regressor	8.636	HPO-1 FE	00:00:59
> 2	Pipeline 4	Gradient boosting regressor	8.636	HPO-1 FE HPO-2	00:00:24
> 3	Pipeline 2	Gradient boosting regressor	10.252	HPO-1	00:00:07
> 4	Pipeline 1	Gradient boosting regressor	11.258	None	00:00:01

Рис. 4 – Список сгенерированных моделей прогнозирования

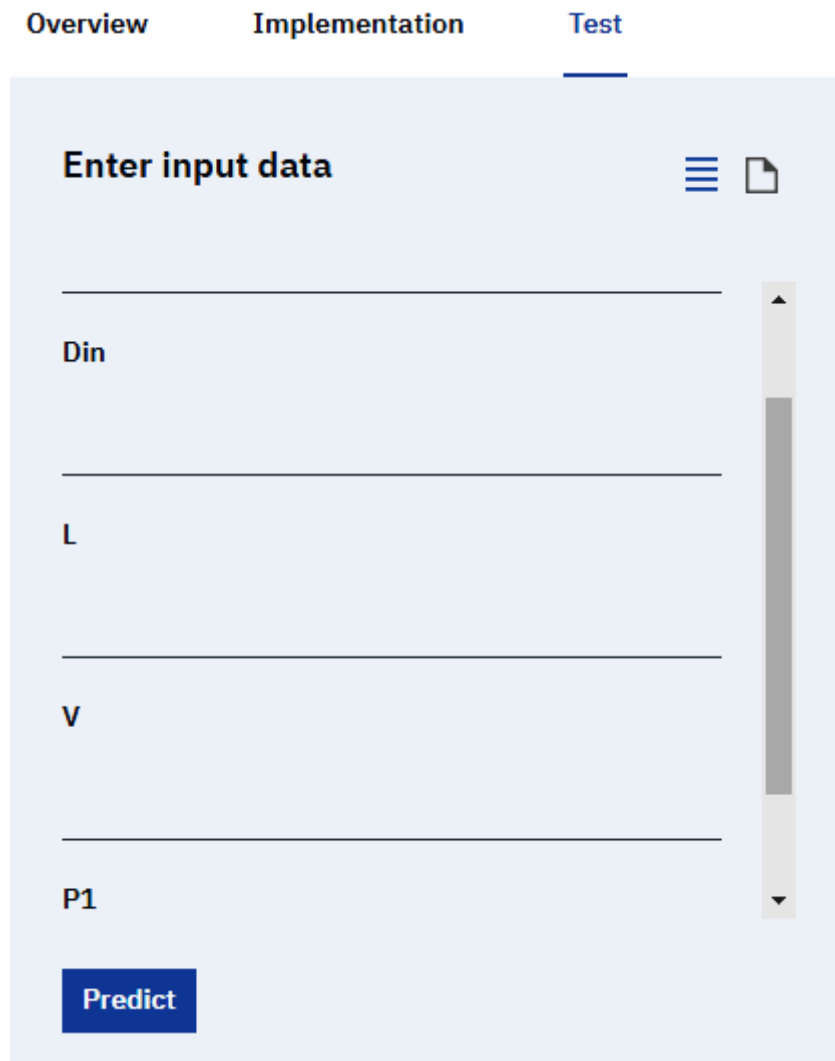


Рис. 5 – Интерфейс тестирования API обученной модели

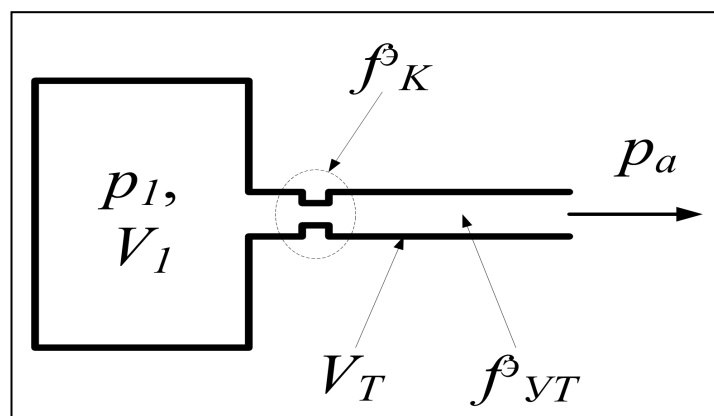


Рис. 6. Расчетная схема «Полость постоянного объема с одним выходом и дросселем на выходе»

Условные обозначения, принятые при выполнении расчетов:

- $V_0 = V_I + V_T$ - начальный объем, м³;
- V_I и V_T — объем собственно полости и трубопровода, м³ (объем V_T подводящего трубопровода определяют по длине трубы от управляющего устройства до полости V_I .);
- $\sigma_1 = p_a/p_M$; $\sigma_2 = p_a/p'_d$
- p_1 и p_2 — начальное и конечное абсолютное давление воздуха в полости (абсолютное значение), Па;
- p_M - абсолютное давление в магистрали;
- $f_{\text{ут}}$ — суммарная эффективная площадь проходного сечения управляющего устройства и трубопровода, м²;
- $\Psi_I(\sigma)$ — функция давления, значения которой можно найти по графику на рис. 7;
- f_y и f_T — эффективная площадь проходного сечения управляющего устройства, установленного на входе трубопровода, и трубопровода ($f_T = \mu_T f_T$), м²;
- $f_{\text{Э}}$ — эффективная площадь сечения дросселя, м²;
- μ_T — коэффициент расхода трубопровода, который можно найти по графику на рис. 8 в зависимости от коэффициента сопротивления ζ ;
- l_T — длина трубы, м;
- d_T — внутренний диаметр трубы, м;
- $\lambda_{\text{пр}}$ — приведенный коэффициент трения, принимающий значения в пределах 0,01—0,04 в зависимости от шероховатости стенок, диаметра и материала трубы [1, 3];
- $k = 1,4$ — показатель адиабаты;
- $R = 287$ Дж/(кг·К) — газовая постоянная.
-

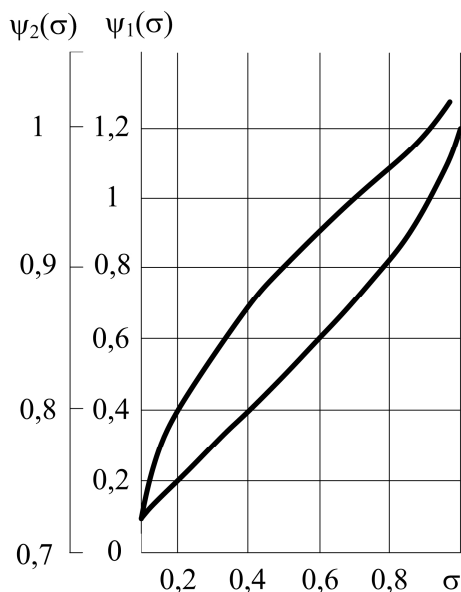


Рис. 7 - Функции давления при наполнении полости $\psi_1(\sigma)$, и при истечении из полости $\psi_2(\sigma)$

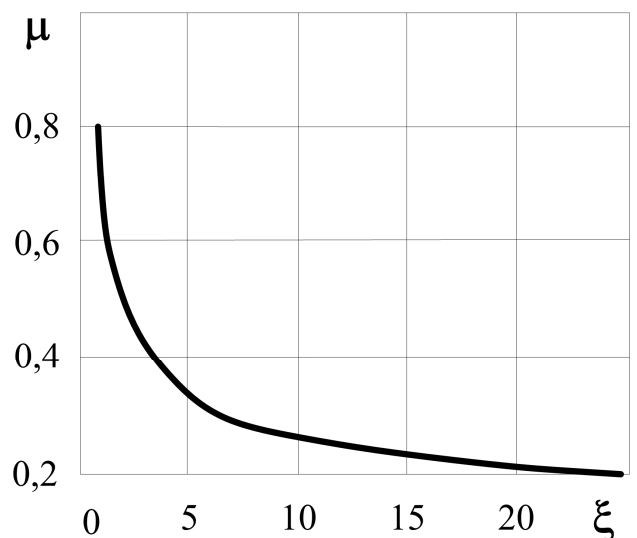


Рис. 8 - Зависимость коэффициента расхода μ от коэффициента сопротивления ζ трубопровода для малых значений ζ

Методика расчета. Поставленная задача: определение расчетных значений времени истечения воздуха, находящегося под давлением, из контрольного объема для сравнения с их эмпирическими значениями, полученными при проведении многофакторного эксперимента. Требуется определить время падения давления от p_M до p'_d в контрольном объеме при истечении из него сжатого воздуха через линию с параметрами:

- начальный объем конечного элемента V'_1 (7, 20 л);
 - эффективная площадь проходного сечения $f'_y = 52,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$;
 - внутренний диаметр трубопровода d_T (4, 6, 8, 9 мм);
 - длина трубопровода между распределителем и конечным элементом $l_{T2}=2 \text{ м}$;
 - длина трубопровода на входе в распределитель $l_{T1}=1 \text{ м}$;
 - длина трубопровода l_T (5, 8, 10 м).
 - приведенный коэффициент потерь в трубе $\lambda_{пр} = 0,01$;
 - давление в контрольном объеме до истечения $p_M = 0,5 \text{ МПа}$.
 - эффективная площадь дросселя на выходе из полости f'_k ($7,07 \cdot 10^{-6}$, $19,63 \cdot 10^{-6}$; $38,47 \cdot 10^{-6}$; $50,02 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$);
 - абсолютное давление на выходе трубопровода после истечения $p'_d=0,1 \text{ МПа}$.
- Суммарную эффективную площадь определяем из уравнения

$$f'_{yT} = \frac{f'_y f'_T}{\sqrt{(f'_y)^2 + (f'_T)^2}} \quad (1)$$

Коэффициент сопротивления

$$\zeta = \frac{\lambda_{пр} l_T}{2d_T} \quad (2)$$

Эффективная площадь сечения дросселя

$$f'_3 = \frac{f'_k f'_{yT}}{\sqrt{(f'_k)^2 + (f'_{yT})^2}} \quad (3)$$

Безразмерный объем и безразмерное сопротивление

$$\Lambda = \frac{V_T}{V_1}, \quad \Omega = \frac{f'_{yT}}{f'_k} \quad (4)$$

Истечение воздуха из полости в атмосферу происходит через дроссель (см. рис. б). Время истечения воздуха из полости до заданного давления

$$t'_3 = 2,53 \cdot 10^{-2} \frac{V'_3}{f'_3 \sigma^{(k-1)/2k}} \left[\psi_2 \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2} \right) - \psi_2 \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_1} \right) \right] \quad (5)$$

В формуле (5), в отличие от (1), используются эквивалентный объем V'_3 и эквивалентная эффективная площадь f'_3

$$V'_3 = V_1 + BV_T \quad (6)$$

Коэффициент B приведения объемов определяется по графикам (рис. 9), построенным при $\sigma_a = 0,2$; $\sigma_1 = 1$, $\sigma_2 = \sigma_d$ для различных значений безразмерного объема Λ и безразмерного сопротивления Ω . Как и при наполнении полости, Λ и Ω определяют по формулам (4).

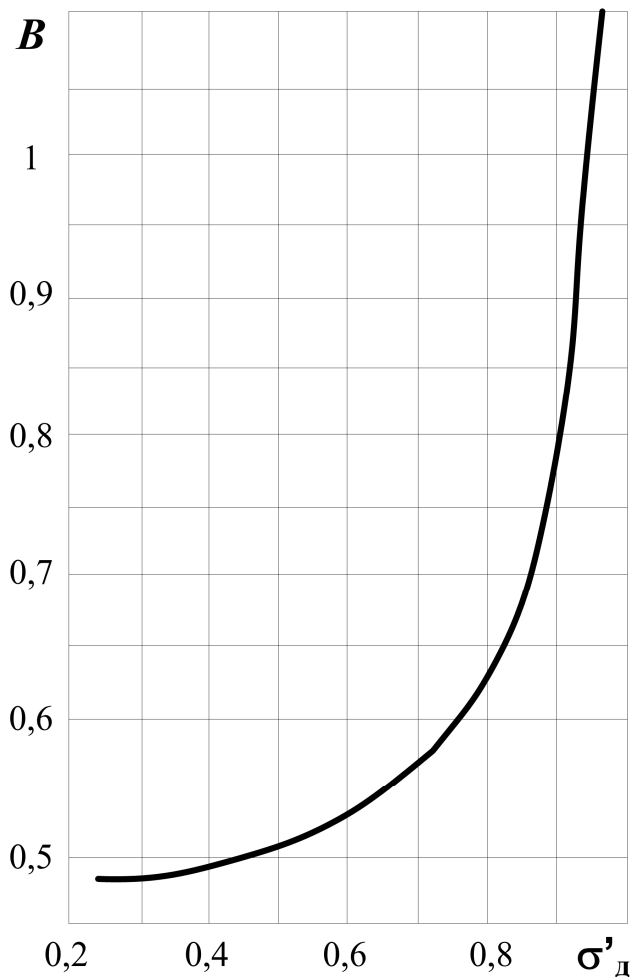


Рис. 9. Коэффициент B приведения объемов при истечении из полости ($\sigma_a=0,2$): $a - \Omega = 1$; $b - \Omega = 2$; $в - \Omega = 4$; $г - \Omega = 10$

Величиной присоединенных объема V_T и сопротивления f'_T можно пренебречь, если при заданных значениях Ω и σ'_d значение Λ лежит ниже соответствующего поля допуска; в этом случае можно принимать $V_3 = V_1$ и $f'_3 = f'_K$. Когда значение Λ лежит выше соответствующей сплошной кривой можно не учитывать величину f'_K и принимать $V_3 = V_1 + V_T$ и $f'_3 = f'_{UT}$.

Стоит отметить, что расчет по вышеописанной методике проведен с учетом некоторых допущений (отсутствие учета в методике количества и типа соединительных элементов), несущественно увеличивающих расхождение с эмпирическими значениями. Таблица определения ошибок расчетных и спрогнозированных данных доступна по ссылке

<https://yadi.sk/i/T9ZfuTVOUqoeTg>, и в

данной статье не приводится.

Далее был реализован второй этап эксперимента по визуализации результатов первого этапа. С использованием сервиса Yandex Data Lens были построены чарты и дашборды:

- отклонений ошибок расчетных и спрогнозированных данных от эмпирических, являвшимися исходными данными;
 - исходного датасета;
 - таблицы с транспонированными заголовками столбцов и строк (рис. 10).
- По итогам проведенного эксперимента можно сделать следующие выводы.

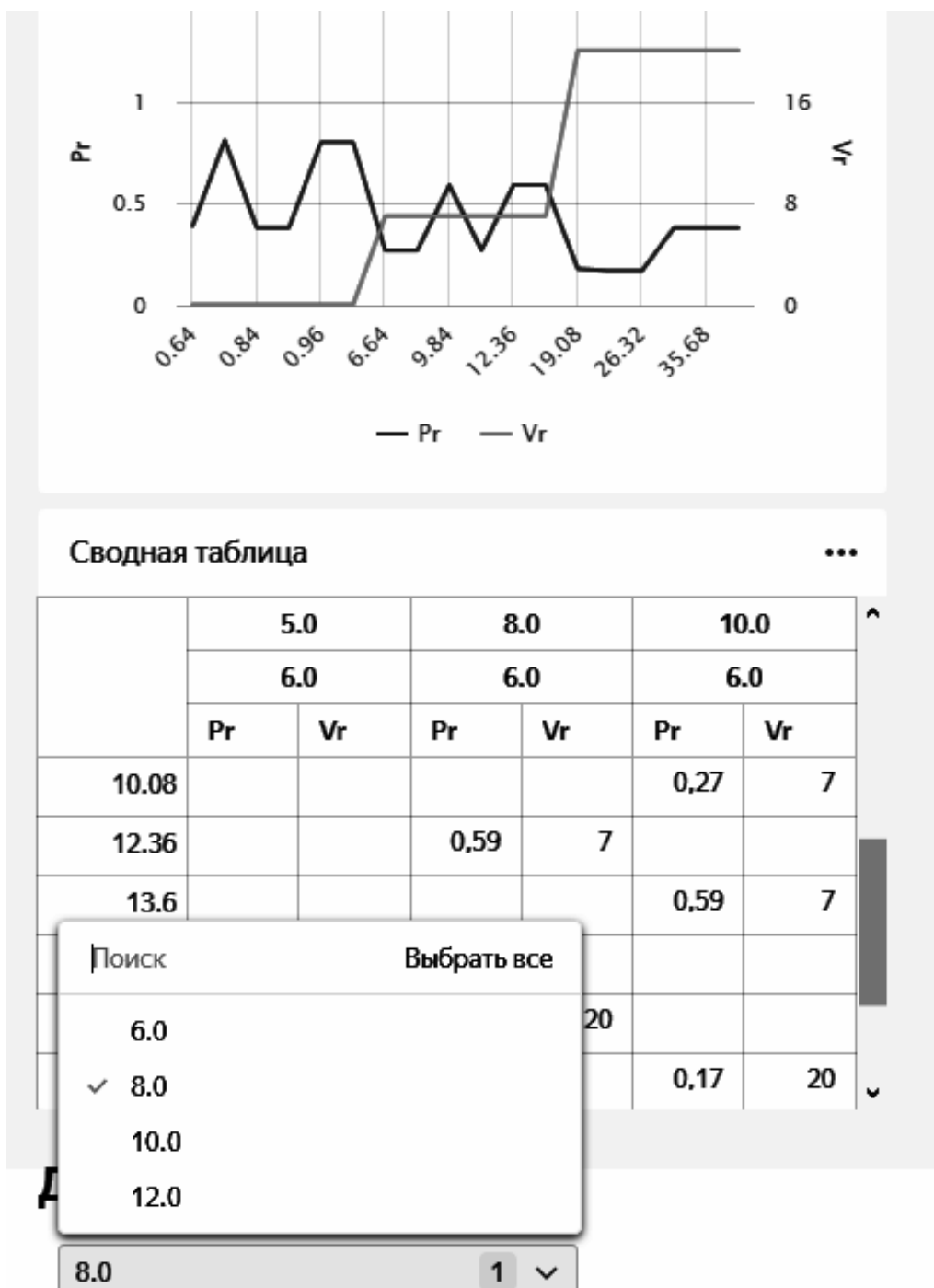


Рис. 10 – Дашборд исходных данных

1) Средняя относительная погрешность данных, полученных с применением обученной модели, составила 113,67%, при этом ее минимальное значение составило 3,22%, а максимальное – 712,24%. Такой результат указывает на трудности применения машинного обучения на базе исходного датасета. Причиной полученных значений относительной разности является низкая точность регрессионной модели вследствие малого размера датасета – 48 измерений, тогда как для приемлемого обучения искусственного интеллекта требуется датасет, размер которого кратен тысячам данных. В данном случае причиной недостаточного количества измерений стала высокая трудоемкость получения данных (ручное управление сбором данных). В случае автоматического сбора данных, например, в отношении автомобильного транспорта – экспорт результатов измерений из базы данных дилерской сети автопроизводителя, высока вероятность обучения искусственным интеллектом более точной модели.

2) Средняя относительная погрешность данных, полученных с применением классического метода расчета, составила 18,93%, при этом ее минимальное значение составило 0,01%, а максимальное – 41,81%. Такой результат значительно лучше, чем описанный выше, но приемлем частично – по позициям расчета, в которых относительная погрешность не превышает 15%. Частичное превышение значений относительной погрешности при проведении классического расчета связано с применением устаревшей методики, не учитывающей современные тенденции конструирования автомобильного пневмопривода, а также ввиду принятых допущений.

3) Применение облачных решений для построения инфографики по результатам научных экспериментов показало высокий уровень их применимости, несмотря на некоторые противоречивые результаты проведенного эксперимента. Особенно стоит отметить режим «Сводная таблица» сервиса Yandex Data Lens, позволяющего представить формируемую таблицу результатов в модифицированном формате, с минимальными затратами времени.

Литература

1. Пневматические устройства и системы в машиностроении: Справочник/Е. В. Герц, А. И. Кудрявцев, О.В. Ложкин и др. Под общ. ред. Е. В. Герц — М.: Машиностроение, 1981. — 408 с., ил.

2. Центр знаний IBM. Документация IBM CLOUD [Электронный ресурс]. IBM 2020. URL: <https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/ru> (Дата обращения: 05.03.2020).

3. Yandex Data Lens. Яндекс-Облако [Электронный ресурс]. «Яндекс.Облако» 2020. URL: <https://cloud.yandex.ru/services/datalens> (Дата обращения: 05.03.2020).