

УДК 004.89

doi: 10.15622/rcai.2025.015

ОБ УСЛОВИИ НЕЗАВИСИМОСТИ ПРИЧИНЫ ОТ КОНТЕКСТА В ДСМ-МЕТОДЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДДЕРЖКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

О.П. Шестерникова (*oshesternikova@frccsc.ru*)

Федеральный исследовательский центр
«Информатика и управление» РАН, Москва

В статье описывается условие независимости причины от контекста в ДСМ-методе автоматизированной поддержки исследований, предложенное для анализа ситуации множественности причины (существования нескольких достаточных компонентных причин). Приводится определение контекста причины, представлен алгоритм для проверки условия независимости от контекста, а также пример выполнения условия для медицинской задачи установления целесообразности направления на компьютерную томографию у больных хроническим панкреатитом.

Ключевые слова: ДСМ-метод АПИ, причинность, достаточная компонентная причина, множественность причин, хронический панкреатит.

Введение

ДСМ-метод автоматизированной поддержки исследований (ДСМ-метод АПИ) направлен на обнаружение причинно-следственных отношений в данных. Развиваемая в ДСМ-методе АПИ общая теория причинности имеет много общего с концепцией так называемой *детерминированной причинности* в медицине. Обычно детерминированную причинность связывают с моделью достаточной компонентной причины (*Sufficient-Component Cause model, SCC*), в которой факторы риска некоторого заболевания являются «компонентами, составляющими достаточные причины, но сами по себе они недостаточны» [Котеров и др., 2022]. Достаточной для наступления исхода (возникновения заболевания) является их комбинация. Графическое представление такой модели реализуется в виде диаграммы, называемой «пирог причинности» (*Causal Pie*), где сектора соот-

ветствуют необходимым компонентам причины (факторам риска), а весь круг – непосредственно достаточной компонентной причине [Котеров и др., 2022]. Таким образом, в модели достаточной компонентной причины причина – это многофакторное явление [VanderWeele, 2017]. При этом важно отметить, что для исследуемого явления может существовать больше одной достаточной причины.

В ДСМ-методе АПИ такая ситуация называется «множественностью причин» (используется термин философа Д.С. Милля): «неверно, будто каждое единичное следствие должно быть связано с одной только причиной, с одним рядом условий, будто всякое явление может быть произведено лишь одним путём. Часто существует несколько независимых друг от друга способов, при помощи которых можно вызвать одно и то же явление» [Милль, 2011].

Таким образом, развитие средств анализа множественности причин в ДСМ-методе АПИ представляется практически значимой для использования в медицинских исследованиях, в частности, при детерминированном подходе. Одним из таких средств является рассмотрение контекста причины, в который входят другие причины изучаемого эффекта.

1. Определение условия независимости причины от контекста

Под контекстом причины V понимаются другие причины $\{V_1, \dots, V_m\}$, также являющиеся причинами наличия (или отсутствия) изучаемого эффекта [Финн, 2024]. Контекст для причины V эмпирической предзакономерности (ЭПЗК) в ДСМ-методе АПИ формально определяется как $\equiv \{V | J_{<v, 2n+1>} H_2(V, Y, p, h)\}$, где $v=1$, если $\sigma=+$ и $v=-1$, если $\sigma=-$, а предикат $H_2(V, Y, p, h)$ означает, что V является причиной Y для некоторого расширения номер p базы фактов (БФ) в некоторой истории возможных миров с номером h [Финн, 2023].

Условие независимости причины V от своего контекста $= \{V_1, \dots, V_m\}$ определяется следующим образом:

$$\Delta \quad (1.1)$$

Это условие говорит о том, что в исходной БФ должен существовать такой пример X , в котором рассматриваемая причина V содержится но не содержится ни одна другая причина из контекста. То есть если «изолировать» эту причину от других, то эффект сохранится.

Заметим, что, если контекст содержит некоторую причину V_0 , которая содержится в исследуемой причине V ($V_0 \subset V$), то условие независимости причины не выполняется, так как $\neg X ((V \subset X) \rightarrow (V_0 \subset X))$. Причины, которые не содержатся в других причинах, называются *минимальными* [Гусакова и др., 2016]. Таким образом, для выполнения условия независимости минимальность является необходимым, но не достаточным требованием.

Минимальность является осмысленным требованием с практической медицинской точки зрения: необходимо находить такие достаточные компонентные причины, что «устранение любого из входящего в них условия может быть достаточно, чтобы сделать эту достаточную причину недействующей» [VanderWeele, 2017]. Кроме того, целенаправленный поиск только минимальных причин позволяет использовать некоторые оптимизации для комбинаторного перебора при порождении гипотез о причине в ДСМ-методе АПИ (например, [Забейайло, 2014]).

2. Условия независимости причины от контекста и типы контекста

Определяются 7 возможных типов контекста причины [Шестерникова и др., 2025] на основе трёх возможных условий:

- 1) причина V_I из контекста несравнима с рассматриваемой причиной V ($V_I \parallel V$);
- 2) причина V_I из контекста содержится в рассматриваемой причине V ($V_I \subset V$);
- 3) причина V_I из контекста содержит рассматриваемую причину ($V \subset_I V_I$)

Возможные комбинации приведенных условий соответствуют типам контекста (обозначаются буквами А-Г):

А) все причины из контекста несравнимы с рассматриваемой причиной V (для всех причин выполняется только условие 1): $\forall V_I (V_I \parallel V)$;

В) все причины из контекста включаются в рассматриваемую причину V (для всех причин выполняется только условие 2): $\forall V_I (V_I \subset V)$;

С) все причины из контекста содержатся в рассматриваемой причине V (для всех причин выполняется только условие 3): $\forall V_I (V \subset V_I)$

Д) все причины из контекста сравнимы с рассматриваемой, но не удовлетворяют случаям В и С (для всех причин выполняется либо условие 2, либо условие 3): $\forall V_I ((V_I \subset V) \vee (V \subset V_I)) \& \exists V_2 (V_2 \subset V) \& \exists V_3 (V \subset V_3)$

Е) все причины из контекста либо несравнимы с рассматриваемой, либо включаются в неё (для всех причин выполняется либо условие 1, либо условие 2): $\forall V_I ((V_I \parallel V) \vee (V \subset V_I)) \& \exists V_2 (V_2 \parallel V) \& \exists V_3 (V \subset V_3)$

Ф) все причины из контекста либо несравнимы с рассматриваемой, либо её включают (для всех причин выполняется либо условие 1, либо условие 3): $\forall V_I ((V_I \parallel V) \vee (V \subset V_I)) \& \exists V_2 (V_2 \parallel V) \& \exists V_3 (V_3 \subset V)$

Г) причины из контекста могут быть любыми (для причин выполняется любое из условий 1-3): $\forall V_I ((V_I \parallel V) \vee (V_I \subset V) \vee (V \subset V_I)) \& \exists V_2 (V_2 \parallel V) \& \exists V_3 (V_3 \subset V) \& \exists V_4 (V \subset V_4)$

Очевидно, что условию минимальности причины V удовлетворяют три типа её контекста: А, С и Ф. Однако, для выполнения условия независимости от контекста, все минимальные причины должны быть дополнительно проверены алгоритмом, приведенным далее.

3. Алгоритм проверки условия независимости причины от контекста

Ниже представлен алгоритм для проверки выполнения условия независимости причины от контекста.

Вход: Причина V , которую нужно проверить на выполнение условия

1. Формируем множество предсказаний, которые делает причина V
 $\text{Pred}(V) = \{Z \mid V \subset Z\}$.

2. Определим множество X_1 примеров из исходной базы фактов (БФ), которые объясняет причина V , $X_1 = \{X \mid \quad \quad \quad \& V \subset X\}$.

3. Для каждого предсказания Z из $\text{Pred}(V)$ проверка контекста:

a. Формируем контекст $\text{Ctx}(V, Z)$: множество гипотез о причине, которые также делают предсказание Z .

b. Определим множество X_2 примеров из БФ, которые объясняют гипотезы о причине из контекста $X_2 = \{X \mid \forall V_0 (\quad \quad \quad \& V_0 \subset X)\}$.

c. Если не существует примера, который объясняет причина V и не объясняет контекст ($|X_1 - X_2| = 0$), то условие независимости причины для V не выполняется.

4. Если проверили все предсказания Z , то условие независимости причины для V выполняется.

При обнаружении эмпирических закономерностей (ЭЗК) – регулярно-стей в расширяющихся (динамических) массивах данных – посредством ДСМ-метода АПИ условие независимости проверяется для гипотезы о причине (об отсутствии причины) V во всех расширениях массива (и во всех построенных для обнаружения ЭЗК историях возможных миров) [Финн, 2023]. Кроме того, обнаружение ЭЗК подразумевает рассмотрение не всех порождаемых гипотез о причине (об отсутствии причины), а только тех, которые делают верные предсказания и не делают неверных [Финн, 2023].

4. Пример эмпирической закономерности с условием независимости причины от контекста

Ниже представлен пример выполнения условия независимости причины от контекста для гипотезы о причине в задаче определения целесообразности направления на компьютерную томографию (КТ) у больных хроническим панкреатитом [Интеллектуальная система, 2022].

Положительные гипотезы о причине (есть исследуемый эффект, нужно направление на КТ):

(1) Табакокурение И индекс массы тела выше нормы И длительность клинических проявлений меньше года являются основанием направления на КТ.

(2) Отсутствие алкогольной зависимости И длительность не больше пяти лет И сильная боль И сахарный диабет являются основанием направления на КТ.

(3) Индекс массы тела выше нормы И длительность клинических проявлений меньше года И сахарный диабет являются основанием направления на КТ.

верно предсказывают пациента №278

(278) Возраст 50-59 лет И отсутствие алкогольной зависимости И табакокурение И индекс массы тела выше нормы И длительность клинических проявлений меньше года И сильная боль И сахарный диабет.

При этом для каждой из гипотез (1)-(3) существует пациент из исходной базы фактов (БФ), который предсказывается рассматриваемой гипотезой, но не предсказывается остальными двумя, составляющими контекст.

Для (1) (контекст = {(2), (3)}) существует пациент №115

(115) Возраст 60-69 лет И отсутствие алкогольной зависимости И табакокурение И индекс массы тела выше нормы И длительность клинических проявлений меньше года И сильная боль И отсутствие сахарного диабета.

Для (2) (контекст = {(1), (3)}) существует пациент №15

(15) Возраст 70-79 лет И отсутствие алкогольной зависимости И отсутствие табакокурения И индекс массы тела норма И длительность клинических проявлений не больше 2-х лет И сильная боль И сахарный диабет.

Для (3) (контекст = {(1), (2)}) существует пациент №152

(152) Возраст 40-49 лет И алкогольная зависимость И отсутствие табакокурения И индекс массы тела выше нормы И длительность клинических проявлений меньше года И несильная боль И сахарный диабет.

Все приведенные гипотезы имеют в исследовании тип контекста F.

Случаев существования минимальной причины, для которой не выполнялось бы условие независимости, в рассматриваемой задаче не было обнаружено.

Заключение

Представленное в статье условие независимости причины от контекста в ДСМ-методе АПИ выделяет «изолированные» причины в ситуации множественности причин (существует несколько причин изучаемого эффекта). Обнаружение таких причин может быть полезно в медицинских исследованиях, направленных на анализ детерминированной причинности.

Список литературы

- [Гусакова и др., 2016] Гусакова С.М., Михеенкова М.А. Интеллектуальный анализ данных как инструмент формирования структуры социума // Научно-техническая информация. Серия 2. – 2016. – № 8. – С. 9-18.
- [Забежайло, 2014] Забежайло М.И. Приближенный ДСМ-метод на примерах // Научно-техническая информация. Серия. 2. – 2014. – № 10. – С. 1-12.
- [Интеллектуальная система, 2022] Шестерникова О.П., Финн В.К., Лесько К.А., Винокурова Л.В. Интеллектуальная система прогнозирования необходимости применения компьютерной томографии // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2022. – № 2. – С. 3-16. – doi: 10.14357/20718594220201.
- [Котеров и др., 2022] Котеров А.Н., Ушенкова Л.Н. Критерии причинности в медико-биологических дисциплинах: история, сущность и радиационный аспект. Сообщение 4, часть 2: Иерархия критериев, их критика и иные методы установления причинности // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2022. – Т. 62, № 4. – С. 339-398. – doi: 10.31857/S0869803122040051.
- [Милль, 2011] Милль Д.С. Система логики силлогистической и индуктивной: Изложение принципов доказательства в связи с методами научного исследования: пер. с англ. / Предисл. и прил. В.К. Финна. – М.: ЛЕНАНД, 2011. – 832 с.
- [Финн, 2023] Финн В.К. Об эмпирических закономерностях в ДСМ-методе автоматизированной поддержки исследований // Научно-техническая информация. Серия 2. – 2023. – № 12. – С. 14-33. – doi: 10.36535/0548-0027-2023-12-2.
- [Финн, 2024] Финн В.К. Об эмпирических закономерностях ранга γ в ДСМ-методе автоматизированной поддержки исследований // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 2024. – № 1. – С. 11-33. – doi: 10.36535/0548-0027-2024-01-2.
- [Шестерникова и др., 2025] Шестерникова О.П., Финн В.К. О когнитивном интерфейсе интеллектуальных систем, реализующих ДСМ-метод автоматизированной поддержки исследований // Научно-техническая информация. Серия 2. – 2025. – № 2. – С. 10-17. – doi: 10.36535/0548-0027-2025-02-2.
- [VanderWeele, 2017] VanderWeele T.J. Invited Commentary: The Continuing Need for the Sufficient Cause Model Today // American journal of epidemiology. – 2017. – Vol. 185(11). – P. 1041-1043. – doi: 10.1093/aje/kwx083.