

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ ВЫСОКОГО УРОВНЯ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЭХО С УЧЕТОМ ВТОРИЧНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛОВ В МЕЖЭЛЕКТРОДНОМ ЗАЗОРЕ

© 2006 Н.Д. Проничев, С.В. Палютин, М.В. Нехорошев

Самарский государственный аэрокосмический университет

В данной работе было исследовано распределение локального съема материала анода при ЭХО с учетом поляризации электродов, а также в программном комплексе ANSYS были смоделированы электрические поля для трехэлектродной ячейки с учетом вторичного распределения потенциалов.

Повышение ресурса и надежности работы современных двигателей является важнейшей задачей. Для решения этой задачи, конструкторы идут, в первую очередь, по пути применения более жаропрочных и жаростойких сплавов для изготовления высоконагруженных деталей. Такое решение, в свою очередь, вызывает сложные технологические проблемы, связанные как с обрабатываемостью этих материалов, так и с возможностью получения высокого качества поверхностного слоя, который в значительной степени определяет прочностные характеристики указанных сплавов.

Теория и практика показывают, что для обработки сложных деталей из жаропрочных и жаростойких материалов наиболее эффективно применять электрохимическую обработку. Однако электрохимическая обработка имеет ряд специфических особенностей, а это сдерживает не только область её применения, но и получение более высокого качества обработанных поверхностей деталей.

В данной работе было исследовано распределение локального съема материала анода при ЭХО с учетом поляризации электродов, а также в программном комплексе ANSYS смоделированы электрические поля для трехэлектродной ячейки с учетом вторичного распределения потенциалов. Величина локального съема определяется распределением первичного электрического тока и явлениями, которые происходят на поверхности анода в процессе обработки и находят отражение в поляризации электрода.

Математически постановка задачи сводится к рассмотрению плоской односвязной области, ограниченной кривыми l_1 , l_2 , l_3 , l_4 в

порядке положительного обхода контура γ (рис.1).

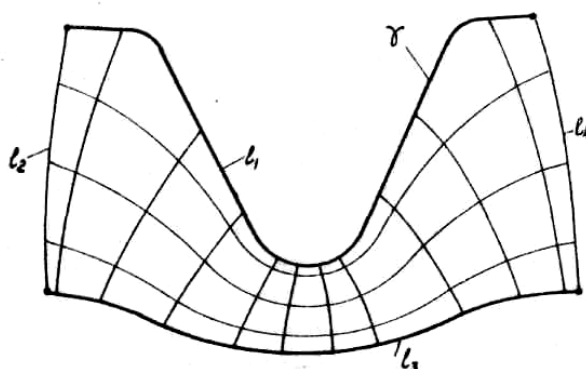


Рис.1. Схема распределения электрического поля в рассматриваемой односвязной области

Кривые l_1 и l_3 являются границами катода и анода соответственно. На кривых l_2 и l_4 выполняется условие:

$$\frac{\partial V}{\partial N} = 0 \quad (1)$$

Внутри области реализуется уравнение Лапласа и краевая задача принимает вид:

$$\Delta V = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial N} \Big|_{l_2} = \frac{\partial V}{\partial N} \Big|_{l_4} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial V}{\partial N} \Big|_{l_1} = \rho \cdot l \cdot f_1(V) \quad (4)$$

$$\frac{\partial V}{\partial N} \Big|_{l_3} = \rho \cdot l \cdot f_2(U - V), \quad (5)$$

где V – потенциал поля;

N – внутренняя нормаль, отнесенная к величине межэлектродного промежутка;

ρ – удельное электрическое сопротивление электролита;

l – величина межэлектродного промежутка;

U – напряжение на электродах;

функции f_1 и f_2 - катодная и анодная поляризационные кривые.

Решаемая в ANSYS задача является обобщенной, т.к. учитывает реальные электродные процессы на катоде, аноде и протекторе, а также износ протектора. В качестве расчетной схемы была взята прошивка отверстий электрохимическим методом (см. рис. 2).

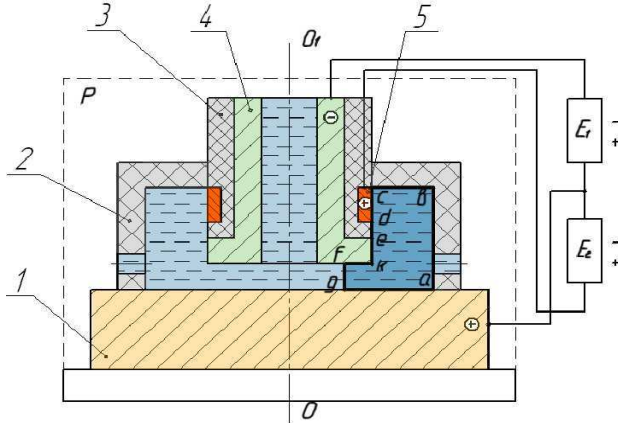


Рис.2. Схема прошивки отверстия методом ЭХО

Необходимо решить задачу о распределении потенциалов в зоне растравливания и рассчитать токи на анодной поверхности в период обработки, но необходимо учесть, что граничные условия для электрических полей в электролите связаны с явлениями поляризации.

Любая электрохимическая реакция, вызванная проходящим через границу электрод-электролит током, сопровождается протеканием ряда необратимых явлений. Суммарный энергетический эффект необратимых электродных процессов при этом характеризуется возникновением на поверхности дополнительного скачка потенциала, который имеет исключительно большое значение в формировании электрического поля. Этот скачок потенциала принято называть поляризацией. Поляризация определенным образом зависит от скорости процесса электролиза, т.е. от плотности тока. Кривую, выражающую графическую зависимость поляризации от плотности тока, называют поляризационной кривой. В большинстве случаев поляризационные кривые имеют сложный вид, не выражаемый

простыми формулами, так что функциональная зависимость между поляризацией и плотностью тока, как правило, дается только в виде графика. Поляризационные кривые учитывают свойства материалов, из которых сделаны электроды – анод, катод и протектор, а также свойства электролита. Поляризационные кривые используются при расчете вторичного поля.

При расчете вторичного поля использовалась модель, принципиальная схема которой, показана на рис. 3.

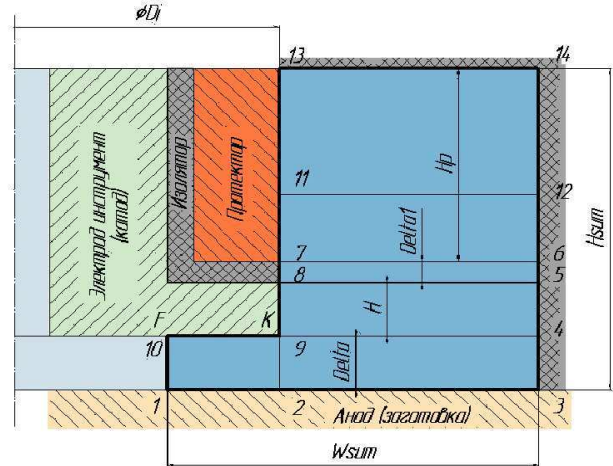


Рис.3. Схема для расчета распределения потенциалов в программе ANSYS с использованием протектора

Будем считать, что протектор изнашивается, таким образом, как показано на рис.4. Точки 16 и 17 являются «плавающими», их координаты изменяются на каждом шаге расчета, в соответствии с рис.4.

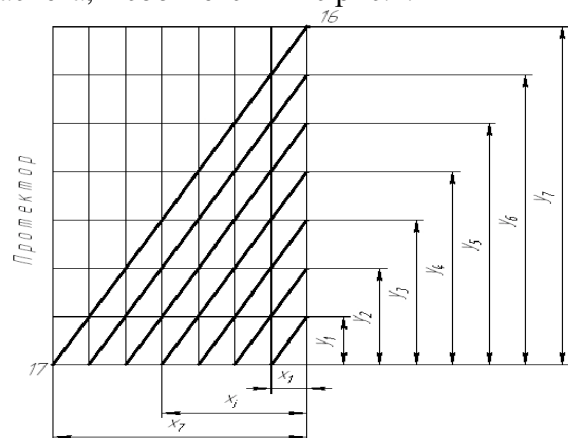


Рис.4. Схема износа протектора

Всего имеем 8 шагов: 1-й шаг – расчет поля потенциалов и токов в исследуемой области при «целом» протекторе – начальный этап обработки; со 2-го по 8-й шаги – расчет

поля потенциалов и токов в исследуемой области на разных стадиях износа протектора.

В расчетах использовался следующий алгоритм наложения нагрузок (потенциалов):

Первая расчетная итерация:

$\varphi_{1-2}=\varphi_{2-3}=A_Volt$ (начальное напряжение на аноде, в макросе по умолчанию $+17\text{ В}$);

$\varphi_{10-9}=\varphi_{8-9}=K_Volt$ (начальное напряжение на катоде, в макросе по умолчанию 0 В);

$\varphi_{13-11}=\varphi_{11-7}=P_Volt$ (начальное напряжение на протекторе для схемы, показанной на рис.3, величина переменная и исследуемая, в проводимых расчетах будет приобретать значения 17 и 32 В);

$\varphi_{15-16}=\varphi_{16-17}=P_Volt$ (напряжение на протекторе для схемы, показанной на рис.4).

На следующей итерации:

$\varphi_{1-2}=\varphi_{2-3}=A_Volt-\varphi_a(i)$ – для анода,

$\varphi_{10-9}=\varphi_{8-9}=K_Volt+\varphi_k(i)$ – для катода,

$\varphi_{13-11}=\varphi_{11-7}=P_Volt-\varphi_n(i)$ – или

$\varphi_{15-16}=\varphi_{16-17}=P_Volt-\varphi_n(i)$ – для протектора.

$\varphi_a(i)$, $\varphi_k(i)$, $\varphi_n(i)$ – значения потенциала в зависимости от плотности тока на поверхности анода, катода и протектора соответственно, получены из поляризационных кривых.

Затем производится оценка изменения потенциала по поверхности, если он меньше введенной специально для этих целей переменной *Epsilon*, то расчет вторичного поля распределения считается завершенным. Иначе производится следующая итерация нагружения и расчета.

Затем в программе ANSYS необходимо выбрать тип элемента. Для данной модели отдаем предпочтение элементу *PLANE230*, как наиболее подходящему. Данный элемент является плоским, состоит из 8-ми узлов и имеет одну степень свободы для каждого узла – напряжение, хорошо подходит для моделей с кривыми границами. Его используют для последующего низкочастотного анализа электрического поля: установившейся электрической проводимости.

В программном комплексе ANSYS был написан макрос, который позволяет рассчитывать электрические поля в электрохимической ячейке с учетом вторичного распределения потенциалов.

Макрос производит расчет следующим образом:

➤ вручную вводятся исходные данные для создания модели электрохимической ячейки;

➤ автоматически строятся ключевые точки в заданных координатах, в зависимости от износа протектора и производится построение областей – четырехугольников;

➤ выбираются тип элемента и задаются свойства электролита

➤ производится разбиение области, состоящей из множества четырехугольников, на конечные элементы

➤ задаются граничные условия, т.е. накладываются нагрузки в виде потенциалов;

➤ производится расчет первичного поля.

➤ задаются граничные условия, с учетом поляризационных кривых;

➤ производится перерасчет.

Нагружение и расчет идут до тех пор, пока изменение потенциала по поверхности не будет меньше введенной погрешности расчета.

В завершении расчета были получены следующие результаты: картина распределения потенциалов в межэлектродном зазоре и прилегающей к нему области для всех шагов износа протектора (см рис. 5–8), при изменении напряжения, поданного на протектор (17 В и 32 В). На рис. 9–12 изображены силовые линии электрического тока в межэлектродном зазоре и прилегающей к нему области для этих же расчетов.

По результатам расчетов были построены графики *Y*-составляющей вектора плотности тока (см. рис. 13–16). С помощью них можно оценить расположение границы зоны растравливания.

Реальная граница зоны растравливания будет немного смещена относительно полученных значений в зависимости от значения стандартного электродного потенциала.

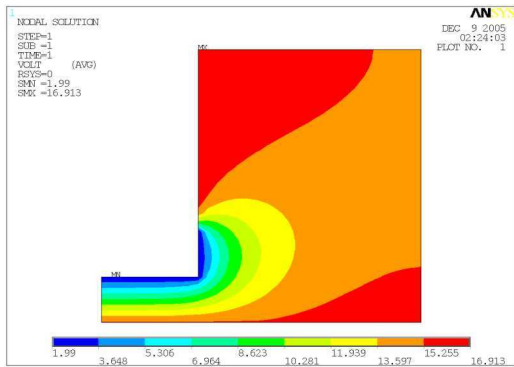


Рис.5. Распределение потенциалов в межэлектродном зазоре и прилегающей области (STEP=1, P_Volt=17B)

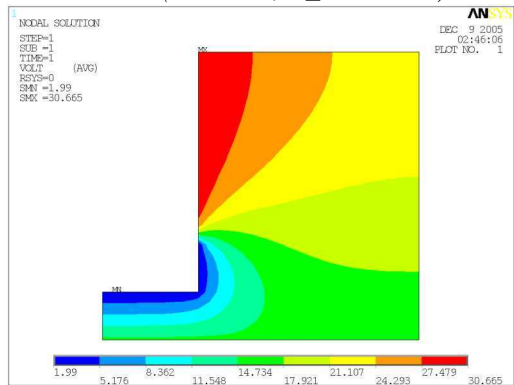


Рис.6. Распределение потенциалов в межэлектродном зазоре и прилегающей области (STEP=1, P_Volt=32B)

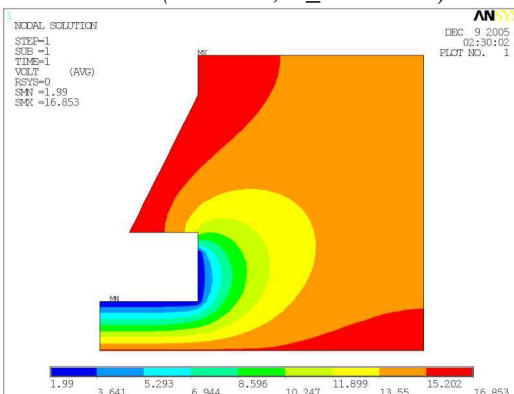


Рис.7. Распределение потенциалов в межэлектродном зазоре и прилегающей области (STEP=8, P_Volt=17B)

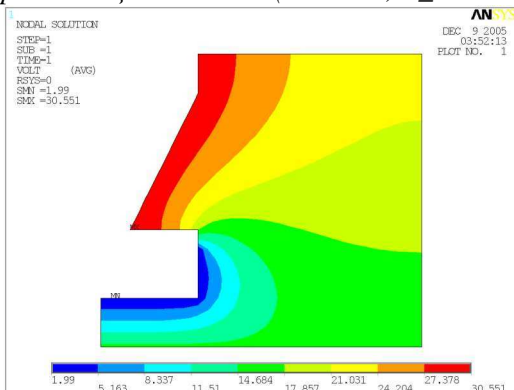


Рис.8. Распределение потенциалов в межэлектродном зазоре и прилегающей области (STEP=8, P_Volt=32B)

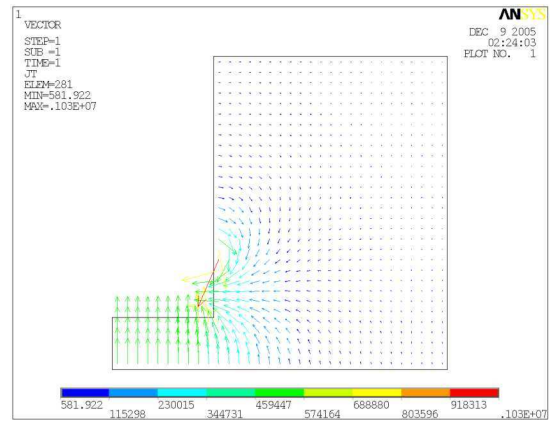


Рис.9. Силовые линии электрического тока (STEP=1, P_Volt=17B)

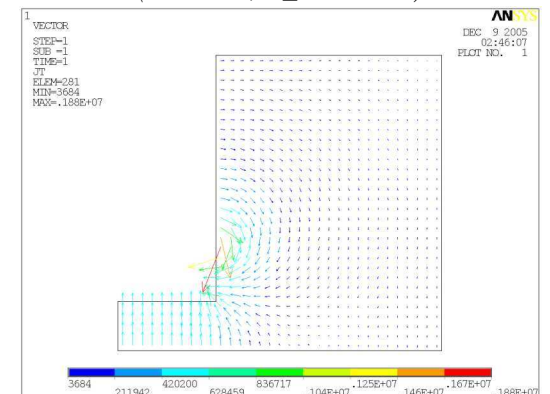


Рис.10. Силовые линии электрического тока (STEP=1, P_Volt=32B)

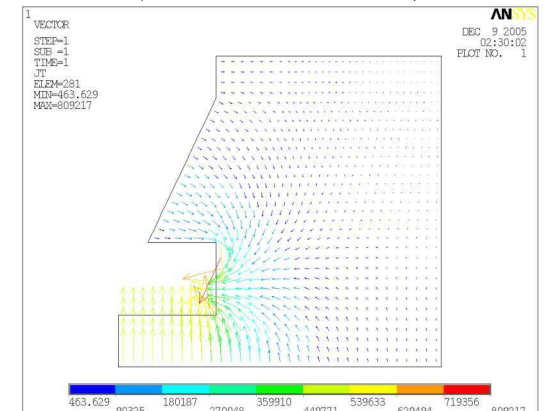


Рис.11. Силовые линии электрического тока (STEP=8, P_Volt=17B)

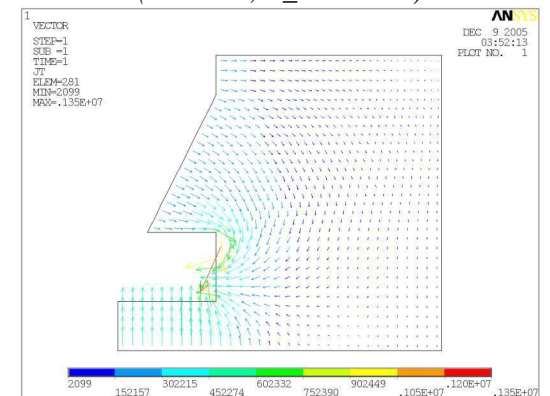


Рис.12. Силовые линии электрического тока (STEP=8, P_Volt=31B)

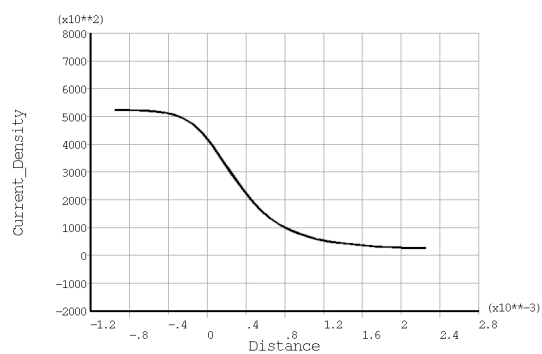


Рис.13. Распределение Y-направляющей вектора плотности тока по поверхности анода (STEP=1, P_Volt=17B)

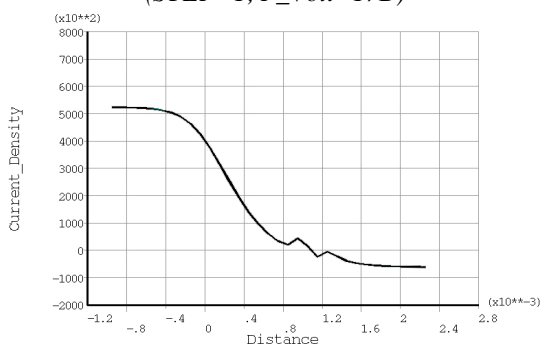


Рис.14. Распределение Y-направляющей вектора плотности тока по поверхности анода (STEP=1, P_Volt=31B)

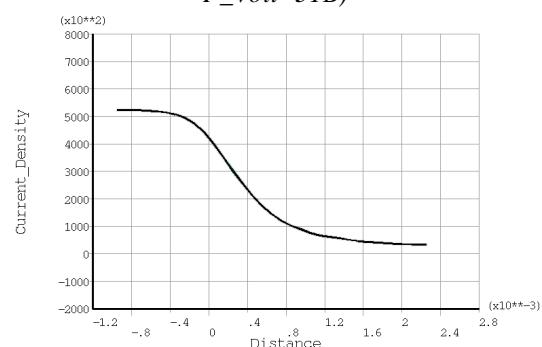


Рис.15. Распределение Y-направляющей вектора плотности тока по поверхности анода (STEP=8, P_Volt=17B)

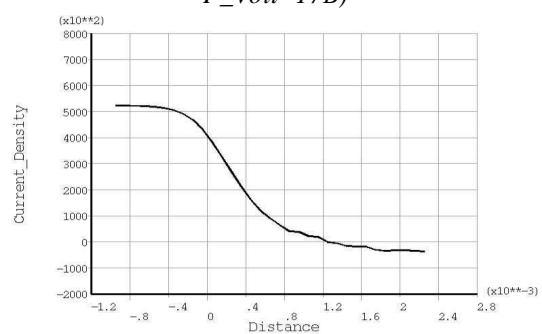


Рис.16. Распределение Y-направляющей вектора плотности тока по поверхности анода (STEP=8, P_Volt=31B)

Из анализа полученных данных видно, что для того чтобы добиться уменьшения величины границы зоны растравливания при отсутствии износа протектора, необходимо

увеличить потенциал, подаваемый на протектор.

С повышением потенциала на протекторе граница зоны растравливания приближается к кромке отверстия. Т.е. можно говорить о том, что, увеличивая потенциал на протекторе, можно достичь такого положения, когда вся область, прилегающая к зоне обработки, будет защищена от растравливания.

Однако в данных условиях происходит разрушение материала протектора, и что износ протектора нарушает функциональную связь между геометрическими размерами протектора и степенью защиты поверхности, т.е. с износом протектора степень защиты снижается.

При возникновении износа, для того чтобы добиться такого же значения границы зоны растравливания, как в случае целого протектора, необходимо дополнительно увеличить потенциал на протекторе. Таким образом, существует связь между износом протектора и величиной границы зоны растравливания.

В результате проведенных расчетов были сделаны следующие выводы:

- Созданная методика оценки эффективности защиты необрабатываемых поверхностей от растравливания учитывает состав электролита и свойства обрабатываемого материала.

- Разработанная методика позволяет сократить затраты на отработку технологии ЭХО и повысить качество обработанных поверхностей (по точности и растравливанию).

- Для уменьшения величины границы зоны растравливания при отсутствии износа протектора, необходимо увеличить потенциал, подаваемый на протектор.

- В данных условиях происходит разрушение материала протектора. Износ протектора нарушает функциональную связь между геометрическими размерами протектора и степенью защиты поверхности, т.е. с износом протектора степень защиты снижается. При возникновении износа необходимо дополнительно увеличить потенциал на протекторе. Таким образом, существует связь между износом протектора и величиной границы зоны растравливания.

Список литературы

1. Сенина О.А. и др. Исследование обрабатываемости титанового сплава ВТ9. Тезисы докл. научно-техн. конф. «Электрохимические методы обработки и упрочнения рабочих поверхностей деталей машин», Тюмень, 1976, 24.

2. Гнусин Н.П., Поддубный Н.П., Маслий А.И. Физическая и математическая постановка задачи об электрических полях в электролитах. В сб. «Основы теории расчета и моделирования электрических полей в электролитах». Новосибирск, «Наука». 1972.

3. Седыкин Ф.В. Размерная электрохимическая обработка деталей машин. Москва, «Машиностроение», 1976.

4. Петров Ю.Н. и др. Основы повышения точности электрохимического формообразования, Кишнев, «Штиинца», 1977.

5. Гродзинский Э.Я., Стебаев А.И. Катодная активация металлов. «Электрохимическая обработка металлов». «Штиинца». Кишинев, 1971.

USE OF MODEL OF A HIGH LEVEL FOR PERFECTION OF TECHNOLOGY OF ELECTROCHEMICAL PROCESSING IN VIEW OF SECONDARY DISTRIBUTION OF POTENTIALS IN AN INTERELECTRODE BACKLASH

© 2006 N.D. Pronichev, S.V. Palyutin, M.V. Nehoroshev

Samara State Aerospace University

In the given work distribution of local removal of a material of the anode has been investigated at electrochemical processing in view of polarization of electrodes, and also in program complex ANSYS electric fields for a three-electrode cell in view of secondary distribution of potentials have been simulated.