

# К разработке технического зрения остаточного ресурса деталей и внутриклеточных процессов\*

Владимиров А.П.

ИМАШ УрО РАН им. Э.С. Горкунова,  
Федеральный НИИ «ВИРОМ» Роспотребнадзора  
г. Екатеринбург, Российская Федерация  
[vap52@bk.ru](mailto:vap52@bk.ru)

Седов Д.С.

Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина  
г. Екатеринбург, Российская Федерация  
[dsedov01@yandex.ru](mailto:dsedov01@yandex.ru)

**Аннотация.** Кратко рассматривается новый спекловый метод определения деформаций газовых, жидких и твердых сред на минимальной базе порядка 1 мкм. Обсуждаются единый механизм деградации материалов при мало-, много-, и гига-цикловой усталости, а также реакция живых клеток на некоторые внешние воздействия, выявленные новым методом. На основе полученных данных предлагается создавать оптические и неоптические методы неразрушающего контроля и диагностики нового поколения, основанные на использовании датчиков матричного типа с размерами ячеек порядка 10 мкм. Обсуждаются актуальность разработки на их основе технического зрения остаточного ресурса деталей и внутриклеточных процессов. Рассматривается проект технического зрения остаточного ресурса деталей на основе матриц тензо-датчиков, термопар, а также матриц из элементов бесконтактного возбуждения и регистрации вихревых токов и ультразвуковых волн. Обсуждается проект спекл – томографа функций живой клетки, основанный на использовании специального оптического элемента. Обсуждаются также первые шаги, направленные на реализацию указанных проектов.

**Ключевые слова:** спеклы, техническое зрение, остаточный ресурс деталей, томография, живые клетки

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность создания технического зрения остаточного ресурса деталей связано с тем, что 90% деталей техники разрушаются вследствие усталости, а от 50 до 80% деталей – от много-цикловой усталости [1-3]. Однако до последнего времени методы неразрушающего контроля многоцикловою усталость в режиме реального времени не регистрировали. Платой за незнание механизмов деградации материалов при многоцикловой усталости является увеличение габаритов и веса изделий для увеличения усталостной прочности, большие сроки их ввода в серию, возникновение аварий при эксплуатации.

Аналогичная ситуация имеет место в клеточной биологии и медицине. В настоящее время структура клеток изучена вплоть до атомного уровня, однако, что происходит в них во времени, известно мало. Как следствие, до сих пор

нет лекарства против вирусов, отсутствуют объективные методы оценки концентрации веществ, не вызывающие необратимые процессы в клетках, тормозится создание персональной медицины.

После создания нового спеклового метода определения деформаций газовых, жидких и твердых сред [4-6], и их использования для изучения многоцикловой усталости [7-9] и внутриклеточных процессов [10-14] ситуация может существенно измениться. В статьях [4-6, 10] было показано, что не регистрация много-цикловой усталости современными методами контроля объясняется большой базой измерения (размером области усреднения) порядка 1-100 мм, в то время как гигантские усталостные эффекты возникают в областях порядка 10 мкм. В частности, было выявлено, что в металлах усталостная трещина зарождается на участке размером порядка 10 мкм при относительной деформации порядка  $10^{-1}$ . На основе полученных данных в публикациях [8-10] было обосновано создание методов неразрушающего контроля и диагностики нового поколения с использованием оптических и неоптических датчиков матричного типа. В работе [11] было обосновано создание на основе данного метода спекл-томографа функций живой клетки.

Целью данной публикации является: 1) краткий обзор вышеупомянутых работ и обоснование на их основе разработки технического зрения остаточного ресурса деталей и процессов в живой клетке, 2) обсуждение первых шагов, предпринятых для создания компьютерного зрения указанных технических и биологических объектов.

## НОВАЯ ШИРОГРАФИЯ

В отличие от традиционной широгрфии [12], новый спекловый метод определения деформаций по существу является сдвиговым интерферометром, настроенным на полосу «бесконечной» ширины, в котором отсутствует оптическая система, создающая сдвиг волн. Детально метод рассмотрен в публикации [13]. Физической основой метода является новый механо-оптический эффект, его теория и экспериментальное обоснование представлены в статье [14].

\* Автор благодарит своих коллег Каманцева И.С., Друкаренко Н.А., Михайленко Ю.А, Белоконову Н.А., Сергеева А.Г., Голицыну К.О, Наронову Н.А., Романова В.В. за их активное участие в проведенных исследованиях. Исследования были проведены в рамках программы исследования № 124020700063 ИМАШ УрО РАН, поддержаны программой развития УрФУ в рамках программы Приоритет -2030. Исследование на клеточных культурах выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-25-00517. Статья публикуется по рекомендации программного комитета Всероссийской научно-технической конференции Автоматизация, <https://rusautocon.org>

Эффект появляется при возникновении деформации малого участка, размер  $\Delta l$  которого равен линейному разрешению линзы. Волны, идущие от центров рассеяния со случайными начальными фазами, создают в точке, сопряженной центру участка, слабо изменяющееся во времени значение интенсивности света  $\tilde{I}$ . Волны с одинаковыми начальными фазами интерферируют так же, как и дифракционной решетке. Их взаимная интерференция эквивалентна интерференции двух волн, отраженных от двух центров рассеяния, расположенных на противоположных краях участка. При изменении разности оптических путей  $\Delta u$  этих двух волн возникает квазипериодическое изменение  $\tilde{I}$ , но не в пространстве, как в дифракционной решетке, а во времени. Регистрируемыми величинами являются величина  $\tilde{I}$  и коэффициент корреляции  $\eta$  величин  $\tilde{I}$  в одном фрагменте изображения объекта. Для определения величины  $\eta$  фрагмент берется в начальном  $t_1$  и текущем  $t_2$  моментах времени. По числу периодов величин  $\tilde{I}$  и  $\eta$  определяются средние значения  $\langle \Delta u \rangle$  величины  $\Delta u$ , а по их амплитуде - ее среднеквадратичное отклонение  $\sigma$ . Если процесс  $\Delta u(t)$  - случайный стационарный, то по нормированной временной автокорреляционной функции  $\eta(\tau)$ , где  $\tau = t_2 - t_1$ , находится временная нормированная автокорреляционная  $\rho(\tau)$  и спектральная  $g(\omega)$  функция величины  $\Delta u$ . Для отражающего объекта  $\Delta u = \Delta \vec{l}(\vec{l}_s + \vec{l})$ , где  $\Delta \vec{l}$  - вектор относительного перемещения двух вышеуказанных центров рассеяния, внутри скобки - сумма единичных векторов, направленных от центра участка соответственно в сторону источника света и линзы, формирующей изображение объекта. Для прозрачного объекта в простейшем случае однородного объекта  $\Delta u = L \times \Delta n$ , где  $L$  - толщина объекта,  $\Delta n$  - разность показателя преломления среды на базе  $\Delta l$ .

В статье [11] формулы для  $\tilde{I}$  и  $\eta$  были получены для случая, когда величина  $\Delta u$  равна сумме  $M$  случайных величин  $\Delta u_m$ ,  $m=1,2, \dots, M$ . Оказалось, что в каждый момент времени величины  $\langle \Delta u \rangle$ ,  $\sigma$ ,  $\rho$  равны суммам аналогичных величин для  $\Delta u_m$ . На основе данного факта была обоснована спектромография функций живой клетки, показано отличное совпадение теории и эксперимента. Были предложены две простые методики определения среднеквадратичного отклонения  $\sigma_m$  и времени корреляции (релаксации)  $\tau_m$  величины  $\Delta u_m$ . Зависимости  $\sigma_m(\tau_m)$  можно рассматривать в качестве функций, характеризующих относительный вклад процессов, протекающих со скоростями, пропорциональными  $1/\tau_m$ , в суммарную деформацию малого участка газовых, жидких или твердых сред.

В настоящее время недостатком метода является усреднение данных по толщине прозрачного объекта. Ниже рассмотрен вариант преодоления этого недостатка.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОЙ ШИРОГРАФИИ

Новый спекловый метод был успешно использован нами для изучения усталости ряда материалов. В работах [9, 10, 15] был выявлен единый механизм деградации материалов при мало-, много-, и гига-цикловой усталости. Было показано, что с самого начала усталости имеет место локализация необратимых процессов на малых участках объектов. Из-за разброса свойств материала, даже если амплитуда

цикла мала по сравнению с его пределом текучести, на небольшом участке при первом же полцикле возникнет необратимая (пластическая) деформация. Тогда, при как угодно малой разгрузке возникнут несовместные деформации: при мысленном разбиении участка на кусочки, они не впишутся в первоначальный объем. Для сохранения сплошности материала, окружающая упруго деформируемая среда сожмет этот участок. При полной разгрузке возникнет участок сжатия, а для равновесия рядом - участок, находящийся в растянутом состоянии. Появление участка, постоянно находящегося в растянутом состоянии, является ключевым моментом в механизме усталостной деградации материалов. Вначале на этом участке одновременно идут два процесса - разрывы межатомных (межмолекулярных) связей и т.н. циклическая ползучесть. В металлах в результате ползучести локальная растягивающая относительная деформация сначала резко возрастает, затем медленно постепенно увеличивается до значений порядка  $10^{-2}$ . После исчерпания механизмов ползучести материал переходит на стадию деформационного разупрочнения. На этой стадии растягивающая деформация вновь резко возрастает, но не за счет изменения формы участка, а за счет изменения его объема. Начинается генерация микропор, пор, микротрещин. Одновременно сопротивление участка деформированию, т.е. максимальное выдерживаемое напряжение постепенно уменьшается до нуля. В этот момент на участке размером порядка 10 мкм при относительной деформации порядка  $10^{-1}$  путем объединения дефектов возникает макротрещина. Деформации оценивали по зависимостям трех компонент вектора  $\Delta \vec{l}$  от числа циклов  $N$  нагружения. Методика нахождения этих зависимостей подробно рассмотрена в публикациях [8, 9]. Она предусматривает регистрацию на одном кадре трех спекловых изображений объекта под разными ракурсами наблюдения, формирование трех уравнений  $\Delta u = \lambda \Delta n$ , где  $\lambda$  - длина волны света,  $\Delta n$  - число периодов величин  $\tilde{I}$  или  $\eta$ . Путем решения системы трех уравнений находятся три неизвестные компоненты  $\Delta u_x$ ,  $\Delta u_y$ ,  $\Delta u_z$  вектора  $\Delta \vec{l}$ . Растягивающую деформацию оценивали по значению отношения  $\Delta u_y/\Delta l$ . На рис. 1 приведены типичные совмещенные зависимости  $\Delta u_x$ ,  $\Delta u_y$ ,  $\Delta u_z$  от числа циклов  $N$ .

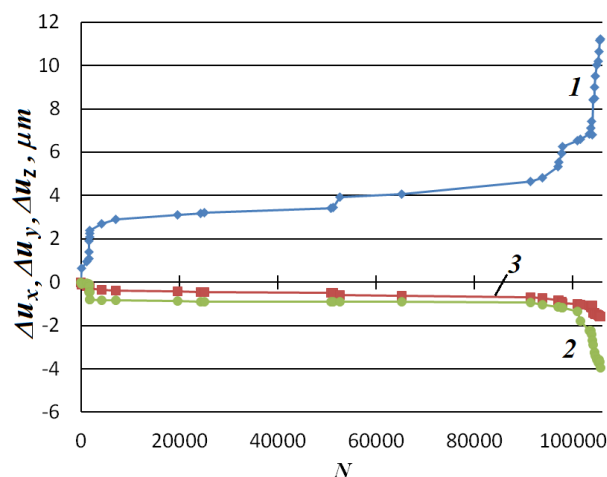


Рис. 1. Совмещенные зависимости компонент вектора  $\Delta \vec{l}$  от числа циклов  $N$  в зоне зарождения трещины:  
1- $\Delta u_y$ , 2- $\Delta u_x$ , 3- $\Delta u_z$ ,  $\Delta l=66$  мкм

При переходе от стадии циклической ползучести к стадии деформационного разупрочнения, из-за генерации дефектов разного типа на вышеуказанном участке средний размер высоты микрорельефа существенно увеличивается. Поэтому в сопряженной области возникает характерное «кипение» спеклов. Данный эффект проявляется в виде высокочастотной модуляции относительно плавно изменяющейся зависимости  $\tilde{l}(t)$ . «Кипение» спеклов можно использовать в качестве индикатора перехода материала на стадию пред-разрушения и принятия мер для предотвращения разрушения детали. Отметим, что при много- и гига-цикловой усталости переход на стадию деформационно разупрочнения материала имеет место на небольшом числе участков. При малоцикловой усталости из-за высокого уровня напряжений это переход возникает одновременно на многих участках объекта. Об этом свидетельствуют «кипения» спеклов на многих фрагментах спекловых изображений, наблюдаемых при прокрутке зарегистрированных кадров. Далее по мере увеличения числа циклов возникает множество усталостных трещин. Окончательное разрушение детали происходит путем их объединения.

Новая ширография была успешно использована для изучения внутриклеточных процессов. Была изучена реакция живых культивированных клеток на изменение температуры [16], на внедрение вирусов герпеса и ЕСНО11 [17, 18], на три химических вещества. Результаты последнего исследования еще находятся на стадии публикации. На основе хорошей корреляции между температурой клеток и  $\sigma$ , среднеквадратичное отклонение  $\sigma$  величины  $\Delta n$  было предложено использовать в качестве параметра, характеризующего активность группы клеток. В частности, было обнаружено, что что большинство клеток активны при температуре 33-34 градусов, а не 37 °C, как считали ранее. На рис. 2 приведены типичные теоретические (сплошные линии) и экспериментальные (точки) зависимости  $\eta(t)$  для группы клеток, культивированных на прозрачной подложке до (кривая 1) и после (кривая 2) введения токсичного вещества, кривая 3 – питательный раствор. Введенным веществом была дистиллированная вода. Теоретические зависимости получены путем подбора значений  $\sigma_m$  и  $\tau_m$  по методике, изложенной в статье [11]. Горизонтальные пунктиры – теоретически найденные постоянные уровни  $\eta^*$ , на которые выходят кривые. Рядом с кривыми приведены коэффици-

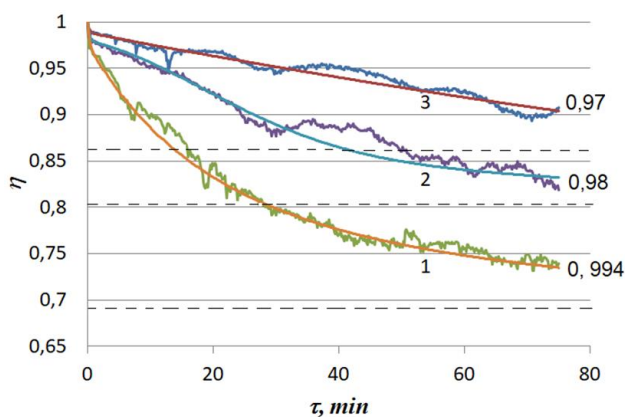


Рис. 2. Типичные зависимости  $\eta(t)$  для монослоя культивированных клеток в питательном растворе: 1 – до введения, 2 – после введения токсичного вещества, 3- питательный раствор

циенты корреляции массивов экспериментальных и теоретических данных. На основе полученных кривых нами оценены погрешности определения минимальной концентрации трех токсичных веществ, изменяющих активность клеток. Также предложена процедура объективной оценки концентрации вещества, не вызывающего необратимые явления в клетках. Для этого с использованием проточной кюветы следует зафиксировать три зависимости  $\eta(t)$  для группы клеток: до и после введения вещества в кювету с клетками, а также после вывода вещества путем замены порции питательного раствора. Если отсутствовали необратимые процессы, то зависимости  $\eta(t)$ , полученные до ввода и после удаления вещества в пределах погрешности измерений должны совпасть.

#### О ТЕХНИЧЕСКОМ ЗРЕНИИ РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ И ВНУТРИКЛЕТОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

В публикациях [8-10, 15] было показано, что не регистрация много-цикловой усталости традиционными методами неразрушающего контроля объясняется большой базой измерения (областью усреднения) порядка 1-100 мм. Как было отмечено выше, гигантские физические эффекты, возникающие при много-цикловой усталости перед зарождением усталостной трещины, локализируются в области порядка 10 мкм. Причиной такой локализации для объектов типичных размеров являются малые абсолютные и относительные перемещения точек поверхности порядка 1 мкм. Поэтому относительные деформации порядка  $10^{-1}$  вынуждены локализоваться в области порядка 10 мкм. В настоящее время отдельные датчики такого размера для всех типов неразрушающего контроля созданы, см. нашу статью [15]. Однако попасть таким датчиков в зону зарождения трещины маловероятно. Поэтому в статьях [8-10] нами было предложено создавать методы и приборы контроля нового поколения с использованием датчиков матричного типа с размерами ячеек порядка 10 мкм. Из матриц малых размером, например, 8×8 ячеек, предложено собирать датчики привычных размеров 1-100 мкм. С помощью таких матриц можно визуализировать распределение в пространстве физических величин, характеризующих степень усталостной деградации материалов. Зная предельное значение физической величины, соответствующее зарождению трещины, контролируя скорость изменения этой величины, можно оценить время появления макротрещины. Такой метод визуализации физических величин можно рассматривать как техническое (компьютерное) зрение остаточного ресурса деталей.

Что касается технического зрения внутриклеточных процессов, то здесь физическими параметрами, характеризующими функционирование, или функции малой области клетки, могут выступать величины, связанные с показателем преломления области. Действительно, пусть продольное разрешение линзы, формирующей изображение клетки, больше ее толщины. Разобьем толщину клетки на  $M$  равных частей толщиной  $l$ . Тогда разность оптических путей  $\Delta n$  вышеуказанных двух волн будет равна сумме  $M$  слагаемых  $l \times \Delta n_m$ ,  $m = 1, \dots, M$ . В свою очередь, показатель преломления  $\Delta n_m$  по формуле Лоренц-Лорентца зависит от плотности  $\rho_m$  среды, а также от удельной рефракции  $r_m$  среды. В свою очередь величина  $r_m$  равна сумме произведений удельных концентраций компонентов среды на их

относительную концентрацию. Отметим также, что плотность среды зависит от ее температуры  $T_m$ , следовательно, от выделенной или поглощенной энергии  $E_m$  химических реакций. Очевидно, что процессы, связанные с переносом веществ, изменением их концентрации, с химическими реакциями, протекают с разными скоростями. Таким образом, определяя в фиксированные моменты времени значения  $\Delta n_m$ , выделяя из флуктуаций  $\Delta n_m(t)$  методом скользящего среднего  $k$  слагаемых с разными временами корреляции  $\tau_{mk}$  и среднеквадратичными отклонениями  $\sigma_{mk}$ , можно будет оценить относительный вклад разных физико-химических процессов, протекающих в  $m$ -ом слое, в клеточный метаболизм.

#### НАРАБОТКИ И НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Нами сделаны первые шаги в направлении создания технического зрения остаточного ресурса деталей и внутриклеточных процессов. Для отработки технологий изготовления датчиков остаточного ресурса принято решение сначала изготовить линейки из 8 ячеек размером порядка 10 мкм. Предполагается, что вначале будут изготовлены линейки тензодатчиков и термопар контактного типа, затем линейки для бесконтактного вихретокового и ультразвукового контроля. В настоящее время изготовлены чертежи линеек тензодатчиков и термопар с размерами ячеек около 50 мкм, разработаны электрические схемы питания, регистрации и записи сигналов. По чертежам из полиамидной пленки с медным покрытием толщиной 100 нм изготовлены ячейки тензодатчиков и решетки меди для линейки термопар медь-константан. Из тонких пластин нержавеющей стали изготовлены трафареты для напыления константана, отлажена технология напыления последнего. На рис. 3 приведен фрагмент пробного варианта линейки тензо-резисторов, изготовленной лазерной резкой медного слоя. Подробное описание проведенной работы дано в дипломной работе [19]. Витки для возбуждения и регистрации вихревых токов также предполагается изготавливать с использованием лазерных технологий. Усталостную деградацию материалов внутри деталей (и на поверхности) предполагается контролировать с помощью генерации и регистрации ультразвуковых волн с длиной волны порядка 10 мкм. Для генерации волн предполагается использовать линейку микролазеров с микролинзами для фокусировки излучения на поверхность. Регистрацию волн, а именно деформацию поверхности под действием ультразвуковых колебаний предполагается осуществлять с помощью нового механо-оптического эффекта. Для этого будут использованы микролазеры и точечные фотоприемники. Для создания спекл-томографа функций живой клетки нами выбран способ регистрации на одном кадре нескольких спекловых изображений под разными ракурсами наблюдения. В работах [7-9] этот метод был успешно использован для выявления механизмов усталости. Для регистрации трех изображений были использованы две небольшие призмы, расположенные вблизи объекта. Нами проведены соответствующие расчеты и выявлена принципиальная возможность изготовления оптического элемента, позволяющего подобным образом регистрировать под разными ракурсами наблюдения около  $32 \times 32$  изображений одной клетки на одном кадре. Тогда, по методике, изложенной в [11], регистрируя значе-

ния  $\tilde{I}$  в пикселе изображения или  $\eta$  на фрагменте изображения в количестве, равном числу неизвестных параметров, решая систему трансцендентных уравнений, можно определить значения искомых величин, характеризующих функционирование клеток. В настоящее время работа находится на стадии оформления технического задания для изготовления оптического элемента. Предварительная договоренность об изготовлении этого элемента на предприятии России имеется.



Рис. 3. Фрагмент линейки тензо-резисторов

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С использованием новой широгграфии нами выявлен единый механизм деградации материалов при мало-, много- и гига-циклового усталости, изучена реакция живых клеток на ряд внешних воздействий. Предложено создавать методы неразрушающего контроля и диагностики нового поколения, основанные на использовании датчиков матричного типа с размерами ячеек порядка 10 мкм. Обосновано создание технического зрения остаточного ресурса деталей, базирующегося на датчиках этого типа. Обосновано также изготовление нового оптического элемента для создания спекл-томографа функций живой клетки. Сделаны первые шаги для создания технического зрения остаточного ресурса изделий и внутриклеточных процессов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Brinckmann S. On the role of dislocations in fatigue crack initiation. Dissertation, University of Groningen, 2005.
2. Новиков И.И. Физическая механика реальных материалов / И. И. Новиков, В. А. Ермишкин. – М.: Наука, 2004. – 324 с.
3. Lasar J. Differential interferometry for real-time measurement in high cycle fatigue metal testing / J. Lasar, M. Hola, O. Cip // Conference PhotoMechanics, May 27-29. Delft: Delft University. – 2015. – P. 64-65.
4. Vladimirov A.P. Dynamic speckle interferometry of high-cycle material fatigue: Theory and some experiments / A.P. Vladimirov // AIP Conference Proceedings. – 2016. – Vol. 1740. – P. 040004-1 -040004-4. DOI: 10.1063/1.4952663.
5. Vladimirov A.P. Theory and calibration of speckle dynamics of phase object / A.P. Vladimirov, A.V. Druzhinin, A.S. Malygin, K.N. Mikitas // Saratov Fall Meeting 2011: Optical Technologies in Biophysics and Medicine XIII, edited by Valery V. Tuchin, Elina A. Genina, Igor V. Meglinski. – 2012. – Vol. 8337. – P. 83370C-1- 83370C-15.

6. Vladimirov A.P. Speckle metrology of dynamic macro- and microprocesses in deformable media // Optical Engineering. – 2016. – Vol. 55, no. 12. – P. 1217-1227.

7. Vladimirov A.P. Dynamic speckle interferometry of high-cycle material fatigue: Theory and some experiments // AIP Conference Proceedings. – 2016. – Vol. 1740. – P. 040004-1-040004-4.

8. Владимиров А.П. Сравнение результатов применения двух спекловых методов изучения многоциклового усталости конструкционной стали / А.П. Владимиров, И.С. Каманцев, Н.А. Друкаренко, К.Е. Мызнов, К.В. Наумов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2024. – Т. 24, № 1. – С. 20-29.

9. Владимиров А.П. Динамическая спекл-диагностика деформаций, повреждений и ресурса деталей машин // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2023. – Т.10, №4. – С. 3-7.

10. Vladimirov A. To the Development of a High-Cycle Fatigue Sensors and Vision Systems / A. Vladimirov, D. Sedov and Y. Prokhorova // IEEE Xplore: 2024 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, Russian Federation. – 2024. – P. 205-209.

11. Владимиров А.П. К спекл-томографии функций живой клетки // Известия вузов. Радиофизика. – 2020 – Т. 63, № 8. – С. 655-664.

12. Hung Y.Y. Shearography: a new optical method for strain measurement and nondestructive testing // Optical Engineering. – 1982. – Vol. 21, no 3. – P. 391-395.

13. Vladimirov A.P. New shearography: theory, experiments, and some applications // Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures. – 2025. – Iss. 1. – P. 268-293.

14. Vladimirov A.P. Dynamic speckle-interferometry of micro-displacements // AIP Conference Proceedings. – 2012. – Vol. 1457. – P. 459-468.

15. Владимиров А.П. Спекл-диагностика деградации сплава Д16 при одно-, мало-, много-, и гига-циклового нагружении // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2024. – Том 11, №3. – С. 73-77.

16. Mikhailova Yu. A. Studying of cell culture reaction to temperature change by dynamic speckle interferometry / Yu.A. Mikhailova, A.P. Vladimirov, A.A. Bakharev, A.G. Sergeev, I.A. Novosyolova, D.I. Yakin // Russian Journal of Biomechanics. – 2017. – Vol. 21, no. 1. – P.56-64.

17. Vladimirov A.P. Retrofit Device for Real-Time Evaluation of Metabolic Activity in Herpes Virus Infected Cell Cultures / A.P. Vladimirov, A.S. Malygin, Yu.A. Mikhailova, A.A. Bakharev, A.P. Poryvaeva // Biomedical Engineering. – 2014. – Vol. 48, iss. 14. – P. 178-181.

18. Vladimirov A.P. Dynamic speckle interferometry of technical and thin biological objects / A.P. Vladimirov, Yu.A. Mikhailova, N.A. Drukarenko // VII International Conference on Speckle Metrology Speckle 2018, 7 September 2018; Proc. SPIE. – Vol. 10834. – P. 1083427-1-1083427-10.

19. Седов Д.С. Разработка миниатюрных датчиков многоциклового усталости. Магистерская диссертация. УрФУ. – Екатеринбург. – 2025. – 83 с.

DOI: 10.24892/RIJE/20260107

# To the Development of Technical Vision of Residual Resource of Parts and Intracellular Processes

Vladimirov A.P.

IES UB RAS named after E.S. Gorkunov  
FRI "VIROM" of Rospotrebnadzor  
Yekaterinburg, Russian Federation  
[vap52@bk.ru](mailto:vap52@bk.ru)

Sedov D.S.

Ural Federal University named after B.N. Yeltsin  
Yekaterinburg, Russian Federation  
[dsedov01@yandex.ru](mailto:dsedov01@yandex.ru)

**Abstract.** A new speckle method for determining the deformations of gas, liquid, and solid media on a minimum base of about 1  $\mu\text{m}$  is briefly discussed. The unified mechanism of material degradation during low-, high-, and gigacycle fatigue, as well as the reaction of living cells to certain external influences identified by the new method, are also discussed. Based on the obtained data, it is proposed to create new generation optical and non-optical methods for non-destructive testing and diagnostics using matrix-type

sensors with cell sizes of about 10  $\mu\text{m}$ . The relevance of developing technical vision of residual resource of parts and intracellular processes is being discussed.

**Keywords:** speckle, technical vision, residual resource of parts, tomography, living cells.

## Библиографическое описание статьи

Владимиров А.П. К разработке технического зрения остаточного ресурса деталей и внутриклеточных процессов / А.П. Владимиров, Д.С. Седов // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2026. – Т.13, №1. – С. 41-45. DOI: 10.24892/RIJE/20260107

## Reference to article

Vladimirov A.P., Sedov D.S. To the development of technical vision of residual resource of parts and intracellular processes, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2026, vol.13, no.1, pp. 41-45. DOI: 10.24892/RIJE/20260107